

А.Э.КРАВЧИК
Э.К.СТРЕЛЬБИЦКИЙ
М.М.ШЛАФ

ВЫБОР И ПРИМЕНЕНИЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ



ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ

А.Э.КРАВЧИК
Э.К.СТРЕЛЬБИЦКИЙ
М.М.ШЛАФ

ВЫБОР И ПРИМЕНЕНИЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ



МОСКВА
ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ
1987

ББК 31.261.63

К78

УДК 621.313.333

Рецензент доктор техн. наук В. И. Радин

Кравчик А. Э. и др.

К78 **Выбор и применение асинхронных двигателей/
А. Э. Кравчик, Э. К. Стрельбицкий, М. М. Шлаф.—
М.: Энергоатомиздат, 1987. — 96 с.; ил.**

Описаны основные сведения о характеристиках, конструкциях асинхронных двигателей, об условиях их применения. Описаны соединение двигателей с сетью и механизмом, процедура выбора двигателя. Приведен необходимый справочный материал. Излагаемый материал основан на разработках, проводимых авторами при создании единых серий асинхронных двигателей. Учен международный опыт применения двигателей.

Для инженеров и техников, занимающихся вопросами выбора и применения двигателей при эксплуатации и проектировании разнообразных механизмов.

К 2302030000-580 155-87
051(01)-87

ББК 31.261.63

© Энергоатомиздат, 1987

Предисловие

Каталоги асинхронных двигателей насчитывают около 1000 типоразмеров, каждый из которых может быть исполнен во многих вариантах. Процедура выбора двигателя состоит в сопоставлении многих параметров двигателя с параметрами приводимых механизмов, питающей сети и условий работы. Целью выбора является, во-первых, определение технической возможности применения двигателя и, во-вторых, нахождение наилучшего варианта из технически возможных. Для вновь разрабатываемых приводов в СССР предусмотрена процедура согласования применения двигателя, предполагаемого для установки, с головным предприятием подотрасли, изготавливающей асинхронные двигатели. Авторы принимали участие в разработке системы согласования двигателей.

В настоящее время в СССР нет систематизированного руководства по вопросам выбора и применения асинхронных двигателей. Авторы ставят цель ликвидировать этот пробел. Книга не рассчитана на использование ее взамен инструкций по выбору и эксплуатации асинхронных двигателей. Тем не менее в несложных случаях она может помочь выбрать двигатель или, по крайней мере, сформулировать требования к приводу. Авторы стремились охватить вопросы выбора и применения двигателей, наиболее часто встречающихся в практике, не углубляясь в специфические проблемы.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность рецензенту доктору техн. наук В. И. Радину, а также редактору инж. Э. П. Клименко за ряд полезных советов, которые были учтены в рукописи.

Авторы будут признательны за все замечания по содержанию книги, которые следует направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Авторы

В ЧЕМ СОСТОИТ ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ

Асинхронные двигатели напряжением до 1000 В экономичны, безопасны, легко обслуживаются. Эксплуатация двигателей не оказывает отрицательных воздействий на окружающую среду. Пространство, занимаемое двигателем, невелико. Однако достоинства асинхронных двигателей могут быть в полной мере реализованы лишь при условии правильного их выбора и применения.

Целью выбора является: определение технической возможности применения двигателя и нахождение наилучшего варианта из технических возможных.

Если двигатель предназначен для применения в нормальных условиях, то при заказе надо указать данные: напряжение сети, частоту сети, типоразмер двигателя по каталогу, соединение обмоток, монтажное исполнение.

Если потребитель не указал типоразмер двигателя, то необходимо указать данные: число фаз сети, напряжение сети, частоту сети, мощность, частоту вращения, соединение обмоток, тип ротора (или механической характеристики), монтажное исполнение, степень защиты.

Под нормальными условиями работы понимаются:

1. Число фаз, напряжение и частота сети соответствуют данным, указанным в каталоге.

2. Нормальные условия пуска при продолжительном режиме работы. Разрешается подряд два пуска из холодного состояния или один пуск из горячего состояния после работы в номинальном режиме. Момент нагрузки в каждом случае пропорционален квадрату частоты вращения и равен номинальному моменту двигателя при номинальной частоте вращения. При этом момент инерции нагрузки не превосходит предельного значения, равного, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$,

$$J = 0,04P^{0,9} p^{2,5},$$

где P — номинальная мощность, кВт; p — число пар полюсов двигателя.

3. Степень защиты и климатическое исполнение двигателя соответствуют условиям эксплуатации.

4. Высота установки над уровнем моря — до 1000 м.

5. Максимальная нагрузка не превышает номинальной мощности.

6. Установка произведена в соответствии с монтажным исполнением и степенью защиты двигателя.

Глава первая

ДВИГАТЕЛИ

1. Каталожные данные

Каталоги асинхронных двигателей содержат все необходимые данные для выбора двигателей. В каталогах указываются: типоразмер двигателя, номинальная мощность для режима S1 (длительный режим)*, частота вращения при номинальной мощности, ток статора при номинальной мощности, коэффициент полезного действия при номинальной мощности, коэффициент мощности при номинальной мощности, кратность начального пускового тока, т. е. отношение начального пускового тока к номинальному, или кратность пусковой мощности, т. е. отношение полной мощности при пуске к номинальной мощности, кратность начального пускового момента, кратности минимального момента, динамический момент инерции ротора.

Кроме этих данных, относящихся к номинальному или пусковому режимам, в каталогах сообщаются более подробные данные об изменении КПД и коэффициента мощности при изменении нагрузки на валу. Эти данные приводятся в табличной или графической форме. Пользуясь этими данными, можно рассчитать также ток статора и скольжение при различных значениях нагрузки на валу.

В каталогах указываются также размеры, необходимые для установки двигателя на объекте и присоединения его к питающей сети. Двигатели, изготавливающиеся в СССР, полностью соответствуют рекомендациям Международной электротехнической комиссии (МЭК). Эти рекомендации сосредоточены в Публикациях 34 и 72.

* Для двигателей с повышенным скольжением номинальная мощность указывается для режима S3 при ПВ=40 %.

Таблица 1

Признак	Позиции в обозначении типоразмера	Состав признака, значения символов
Обозначение серии	1—2	4А — четвертая серия асинхронных двигателей АИ — серия асинхронных двигателей, унифицированная среди стран — членов Интерэлектро
Степень защиты	8	СО* — IP44 Н — IP23
Материалы станины и подшипниковых щитов	4	СО* — станина и щиты чугунные или стальные А — станина и щиты алюминиевые Х — любое сочетание чугуна и алюминия в качестве материалов станины и щитов
Модификация	5—6	Р — с повышенным пусковым моментом С — с повышенным скольжением К — с фазным ротором В — встраиваемые У — однофазные с пусковым конденсатором Т — однофазные с рабочим конденсатором Е — однофазные с пусковым резистором УТ — однофазные с пусковым и рабочим конденсаторами
Высота оси вращения, мм	7—9	50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355
Установочный размер по длине станины	10	С — короткая станина М — средняя станина Л — длинная станина
Длина сердечника статора при сохранении установочного размера	11	СО* — одна длина сердечника А — короткий сердечник В — длинный сердечник
Число полюсов	12—19	2, 4/2, 6/4/2, 4, 6/4, 8/6/4, 12/8/6/4, 6, 8, 8/6, 10, 12/6, 12

Признак	Позиции в обозначении типоразмера	Состав признака, значения символов
Модификация по конструкции и условиям окружающей среды	20—21	Н — малошумные Б — со встроенной температурной защитой Е — с электромагнитным тормозом К — с увязкой шкалы мощностей с установочными размерами по CENELEK** П — с повышенной точностью по установочным размерам Ш — с подшипниками скольжения Ф — фреомаслостойкие Х — химостойкие СХ — сельскохозяйственные
Климатическое исполнение	22—23	У — для умеренного климата Т — для тропического климата ХЛ — для холодного климата
Категория размещения	24	1, 2, 3, 4, 5 — по ГОСТ 15150-69

* СО — символ отсутствует, пробел опускается.

** CENELEK — Европейский комитет по координации электротехнических стандартов.

Обозначение типоразмера. На различных этапах создания, распределения, установки, эксплуатации и ремонта двигателей требуется различная детальность описания. Для большинства целей достаточна детализация на уровне типоразмера. Каталогное описание типоразмера двигателей серий 4А и АИ содержит признаки, обозначаемые максимально 24 символами (табл. 1) [1].

Примеры. 4А160М4УЗ — асинхронный двигатель серии 4А, со степенью защиты IP44, станина и щиты чугунные, высота оси вращения 160 мм, выполнен в станине средней длины М, четырехполюсный, предназначен для эксплуатации в умеренном климате, категория размещения 3.

4AA56B4CXU1 — асинхронный двигатель серии 4А со степенью защиты IP44, станина и щиты алюминиевые, высота оси вращения 56 мм, имеет длинный сердечник, четырехполюсный, сельскохозяйственная модификация по условиям окружающей среды, предназначен для эксплуатации в умеренном климате, категория размещения 1.

4A112MA8/4Y3 — асинхронный двигатель серии 4А со степенью защиты IP44, высота оси вращения 112 мм, выполнен в станине средней длины М с коротким сердечником, двухскоростной с переключением числа полюсов с 8 на 4, предназначен для эксплуатации в умеренном климате, категория размещения 3.

Номинальные мощности. *Номинальной мощностью* двигателя называют механическую мощность на валу в режиме работы, для которого он предназначен предприятием-изготовителем. Ряд номинальных мощностей электрических машин установлен ГОСТ 12139-74: 0,06; 0,09; 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1; 1,5; 2,2; 3,7; 5,5; 7,5; 11; 15; 18,5; 22; 30; 37; 45; 55; 75; 90; 110; 132; 160; 200; 250; 315; 400 кВт.

Предельно допустимая мощность двигателя может изменяться при изменении режима работы, температуры охлаждающего агента и высоты установки над уровнем моря, о чем будет подробнее сказано ниже. Двигатели должны сохранять номинальную мощность при отклонениях напряжения сети от номинального значения в пределах $\pm 5\%$ при номинальной частоте сети и при отклонениях частоты сети в пределах $\pm 2,5\%$ при номинальном напряжении. При одновременном отклонении напряжения и частоты сети от номинальных значений двигателя должны сохранять номинальную мощность, если сумма абсолютных отклонений не превосходит 6 % и каждое из отклонений не превышает нормы. В случае продолжительной работы при указанных пределах изменения напряжения предельные превышения температуры по табл. 12 могут быть повышены на 10 °С.

Синхронная частота вращения. Ряд синхронных частот вращения асинхронных двигателей установлен ГОСТ 10683-73 и при частоте сети 50 Гц имеет следующие значения: 500, 600, 750, 1000, 1500 и 3000 об/мин.

Динамический момент инерции ротора. Мерой инерционности тела при вращательном движении является *момент инерции*, равный сумме произведений масс всех точечных элементов на квадрат их расстояний от оси вращения. Момент инерции ротора асинхронного двигателя равен сумме моментов инерции многоступенчатого

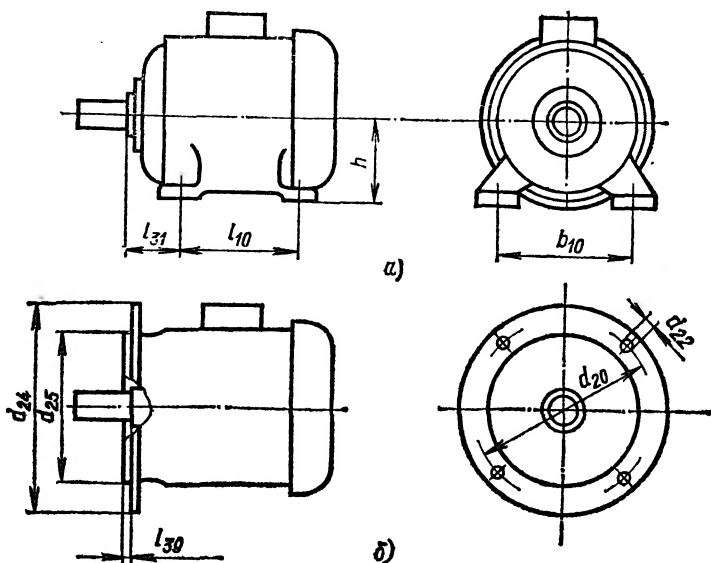


Рис. 1. Установочные размеры электрических машин на лапах (а) и с фланцем (б)

вала, сердечника, обмотки, вентилятора, шпонки, вращающихся частей подшипников качения, обмоткодержателей и нажимных шайб для фазного ротора и т. д.

Установочные размеры. Крепление электрических машин на объекте производится посредством лап, фланцев или лап и фланцев одновременно. Электрические машины на лапах имеют четыре главных установочных размера* (рис. 1, а, обозначение по ГОСТ 4541-70):

$h(H)$ — расстояние от оси вала до опорной поверхности лап (основной размер);

$b_{10}(A)$ — расстояние между осями крепительных отверстий;

$l_{10}(B)$ — расстояние между осями крепительных отверстий (боковой вид);

$l_{31}(C)$ — расстояние от опорного торца свободного конца вала до оси ближайших крепительных отверстий в лапах.

Высота оси вращения регламентирована ГОСТ 13267-73. Размеры b_{10} , l_{10} , l_{31} (табл. 2) установлены стан-

* Обозначения в скобках даны по Публикации 72 МЭК.

Таблица 2

Высота оси вра- щения, мм	Условная длина станины	h (H), мм	b_{10} (A), мм	l_{10} (B), мм	l_{11} (C), мм	d_{10} (K), мм	Диаметр болта
50	—	50	80	63	32	5,8	M5
56	—	56	90	71	36	5,8	M5
63	—	63	100	80	40	7	M6
71	—	71	112	90	45	7	M6
80	—	80	125	100	50	10	M8
90	S	90	140	100	56	10	M8
90	L	90	140	125	56	10	M8
100	S	100	160	112	63	12	M10
100	L	100	160	140	63	12	M10
112	S	112	190	140	70	12	M10
112	M	112	190	140	70	12	M10
132	S	132	216	140	89	12	M10
132	M	132	216	178	89	12	M10
160	S	160	254	178	108	15	M12
160	M	160	254	210	108	15	M12
160	L	160	254	254	108	15	M12
180	S	180	279	203	121	15	M12
180	M	180	279	241	121	15	M12
180	L	180	279	279	121	15	M12
200	S	200	318	228	133	19	M16
200	M	200	318	267	133	19	M16
200	L	200	318	305	133	19	M16
225	S	225	356	286	149	19	M16
225	M	225	356	311	149	19	M16
250	S	250	406	311	168	24	M20
250	M	250	406	349	168	24	M20
280	S	280	457	368	190	24	M20
280	M	280	457	419	190	24	M20
315	S	315	508	406	216	28	M24
315	M	315	508	457	216	28	M24
355	S	355	610	500	254	28	M24
355	M	355	610	560	254	28	M24
355	L	355	610	630	254	28	M24

дартами и соответствуют Публикации 72 МЭК. В табл. 2 указаны также диаметр крепительных отверстий K и диаметр крепительного болта. Остальные установочные размеры машин можно найти в каталогах.

Электрические машины с фланцами имеют четыре главных установочных размера* (рис. 1, б):

$d_{20}(M)$ — диаметр окружности центров крепительных отверстий;

* Обозначения в скобках даны по Публикации 72 МЭК.

Таблица 3

Размер фланца	$d_{20} (M)$, мм	$d_{25} (N)$, мм	$d_{24} (P)$, мм	$l_{30} (R)$, мм	Число отвер- стий	$d_{22} (S)$, мм	Диаметр болта	$l_{20} (T)$, мм
F100	100	80	120	0	4	7	M6	3
F115	115	95	140	0	4	10	M8	3
F130	130	110	160	0	4	10	M8	3,5
F165	165	130	200	0	4	12	M10	3,5
F215	215	180	250	0	4	15	M12	4
F265	265	230	300	0	4	19	M16	5
F300	300	250	350	0	4	19	M16	5
F350	350	300	400	0	4	19	M16	5
F400	400	350	450	0	8	19	M16	5
F500	500	450	550	0	8	19	M16	5
F600	600	550	660	0	8	24	M20	6
F740	740	680	800	0	8	24	M20	6

$d_{25}(N)$ — диаметр центрирующей заточки;

$d_{24}(P)$ — внешний диаметр фланца;

$l_{30}(R)$ — расстояние от опорной поверхности фланца до опорной поверхности свободного конца вала.

Установочные размеры указываются в каталогах. Они соответствуют Публикации 72 МЭК.

В табл. 3 приведены установочные размеры для машин с фланцами. Кроме того, в табл. 3 указаны диаметры крепительного отверстия $d_{22}(S)$, число отверстий, диаметр болта и максимальная глубина центрирующей заточки $l_{20}(T)$.

2. Характеристики

Механические характеристики и пусковые свойства двигателя. Механическая характеристика представляет зависимость вращающего момента двигателя от его частоты вращения при неизменных напряжении, частоте питающей сети и внешних сопротивлениях в цепях обмоток двигателя.

Пусковые свойства характеризуются значениями пускового момента M_n , минимального момента $M_{\min}$, максимального (критического) момента $M_{\text{кр}}$, пускового тока I_n или пусковой мощности P_n или их кратностями. Зависимость момента, отнесенного к номинальному моменту, от скольжения называется *относительной механической характеристикой*.

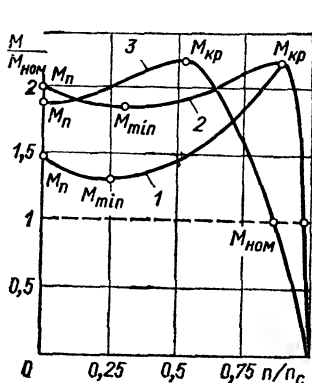


Рис. 2. Механические характеристики двигателя:

1 — базового ряда; 2 — с повышенным пусковым моментом; 3 — с повышенным скольжением

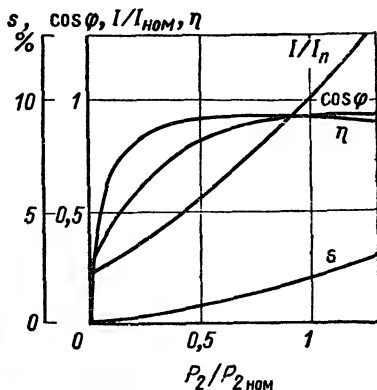


Рис. 3. Типовые рабочие характеристики

Номинальный вращающий момент, Н/м, определяется по формуле

$$M_{\text{ном}} = 9550 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}},$$

где $P_{\text{ном}}$ — номинальная мощность, кВт; $n_{\text{ном}}$ — номинальная частота вращения, об/мин.

Механические характеристики асинхронных двигателей зависят от типа ротора, номинальной мощности, а также от числа полюсов. Однако разность в значениях момента при соответствующих скольжениях у двигателей с числом полюсов 2, 4, 6 невелика и не превышает значения поля допуска на моменты.

Разновидности механических характеристик для различных модификаций асинхронных двигателей показаны на рис. 2.

Механические характеристики группы двигателей, представляющих отрезок серии, укладываются в некото-

Таблица 4

Модификация	Высота оси вращения, мм	Число полюсов	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{кр}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{min}}}{M_{\text{ном}}}$
4А	50—132	2, 4, 6	2—2,2	2,2—2,5	1,5—1,8
4А, 4АН	160—355	8	1,6—1,9	1,7—2,2	1,4—1,7
4АР, 4АС	71—250	2, 4, 6, 8	1,2—1,4	2—2,5	1—1,2
		2, 4, 6, 8	1,8—2	2—2,2	1,5—1,6

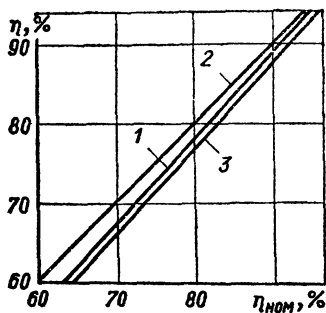


Рис. 4. Коэффициент полезного действия при частичных нагрузках:

1 — $P_2/P_{2\text{ном}} = 0,5$; 2 — $P_2/P_{2\text{ном}} = 0,75$;
3 — $P_2/P_{2\text{ном}} = 1,25$

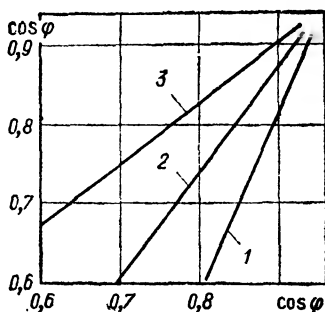


Рис. 5. Коэффициент мощности при частичных нагрузках:

1 — $P_2/P_{2\text{ном}} = 0,5$; 2 — $P_2/P_{2\text{ном}} = 0,75$; 3 — $P_2/P_{2\text{ном}} = 1,25$

рую зону. Среднюю линию этой зоны назовем *групповой механической характеристикой* отрезка серии. В табл. 4 представлены координаты групповых механических характеристик. Ширина зоны групповой характеристики не превышает поля допуска на моменты.

Рабочие характеристики. Рабочие характеристики — это зависимости подводимой мощности P_1 , тока в обмотке статора I , вращающего момента M , КПД η , коэффициента мощности $\cos \varphi$ и скольжения s от полезной мощности двигателя P_2 при неизменных напряжении на выводах обмотки статора, частоте сети и внешних сопротивлениях в цепях обмоток двигателя (рис. 3).

В каталогах обычно приводятся зависимости КПД и $\cos \varphi$ от P_2 . Если такие зависимости отсутствуют, то значения КПД и $\cos \varphi$ могут быть приближенно определены по рис. 4 и 5.

Скольжение приближенно может быть определено по формуле

$$s \approx s_{\text{ном}} \frac{P_2}{P_{\text{ном}}},$$

а линейный ток статора — по формуле

$$I = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \eta \cos \varphi},$$

где I — ток статора, А; η — КПД; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности; $U_{\text{ном}}$ — номинальное линейное напряжение, В.

Таблица 5

Нормальная мощность, кВт	Уровень звука, дБ (по шкале А), для машин класса 1 со степенью защиты IP44 при частоте вращения, об/мин					
	От 600 до 960	Свыше 960 до 1320	Свыше 1320 до 1900	Свыше 1900 до 2360	Свыше 2360 до 3150	Свыше 3150 до 3750
Свыше 0,25 до 1,1	67	70	71	74	75	79
Свыше 1,1 до 2,2	69	70	73	78	80	82
Свыше 2,2 до 5,5	72	74	77	82	83	85
Свыше 5,5 до 11	75	78	81	86	88	90
Свыше 11 до 22	78	82	85	87	91	93
Свыше 22 до 37	80	84	86	89	92	95
Свыше 37 до 55	81	86	88	92	94	97
Свыше 55 до 110	84	89	92	93	96	98
Свыше 110 до 220	87	91	94	96	98	100
Свыше 220 до 400	83	92	96	98	99	102

Частота вращения ротора

$$n = n_c (1 - s)$$

где n_c — синхронная частота вращения, об/мин.

Уровень шума. Предельные значения уровней шума электрических машин определены ГОСТ 16372-84, который соответствует Публикации 34-9 МЭК.

По допустимому уровню шума в режимах холостого хода электрические машины разделяют на классы 1, 2, 3 и 4. В качестве шумовой характеристики принимают средний уровень звука на расстоянии 1 м от контура машины либо скорректированный уровень звуковой мощности. Уровень звуковой мощности указывается для машин, поставляемых на экспорт. Машины класса 1 должны иметь уровень звука на расстоянии 1 м от контура машины не выше значений, указанных в табл. 5 при степени защиты IP44 или в табл. 6 при степенях защиты IP22 и IP23. Допустимые уровни звука машин классов 2, 3 и 4 должны быть ниже допустимых уровней класса 1 на 5, 10 и 15 дБ (по шкале А) соответственно. Предельные значения скорректированных уровней звуковой мощности машин класса 1 со степенями защиты IP44 и IP23 приведены в табл. 7 и 8.

Надежность. Под надежностью двигателя понимается его свойство сохранять во времени в установленных пре-

Таблица 6

Номинальная мощность, кВт	Уровень звука, дБ (по шкале А), для машин класса I со степенью защиты IP23 при частоте вращения, об/мин					
	Свыше 600 до 960	Свыше 960 до 1320	Свыше 1320 до 1900	Свыше 1900 до 2360	Свыше 2360 до 3150	Свыше 3150 до 3750
Свыше 0,25 до 5,5	68	71	75	78	81	84
Свыше 5,5 до 11	72	75	78	81	84	87
Свыше 11 до 22	75	78	81	83	87	90
Свыше 22 до 37	78	81	83	85	88	92
Свыше 37 до 55	79	83	86	88	90	93
Свыше 55 до 110	82	85	88	90	92	95
Свыше 110 до 220	85	87	90	93	95	96
Свыше 220 до 400	86	90	92	94	95	98

делах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Надежность двигателя состоит из сочетания безотказности, долговечности и ремонтпригодности.

Таблица 7

Номинальная мощность, кВт	Корректированный уровень звуковой мощности, дБ (по шкале А), машин класса I со степенью защиты IP44 при частоте вращения, об/мин					
	Свыше 600 до 960	Свыше 960 до 1320	Свыше 1320 до 1900	Свыше 1900 до 2360	Свыше 2360 до 3150	Свыше 3150 до 3750
Свыше 0,25 до 1,1	76	79	80	83	84	88
Свыше 1,1 до 2,2	79	80	83	87	89	91
Свыше 2,2 до 5,5	82	84	87	92	93	95
Свыше 5,5 до 11	85	88	91	96	97	100
Свыше 11 до 22	89	93	96	98	101	103
Свыше 22 до 37	91	95	97	100	103	105
Свыше 37 до 55	92	97	99	103	105	107
Свыше 55 до 110	96	101	104	105	107	109
Свыше 110 до 220	100	104	106	108	110	112
Свыше 220 до 400	102	106	109	111	112	114

Таблица 8

Номинальная мощность, кВт	Корректированный уровень звуковой мощности, дБ (по шкале А), машин класса I со степенью защиты IP23 при частоте вращения, об/мин					
	Свыше 600 до 960	Свыше 960 до 1320	Свыше 1320 до 1900	Свыше 1900 до 2360	Свыше 2360 до 3150	Свыше 3150 до 3750
Свыше 0,25 до 5,5	78	81	85	88	91	94
Свыше 5,5 до 11	82	85	88	91	94	97
Свыше 11 до 22	86	89	92	94	97	100
Свыше 22 до 37	89	92	94	96	99	102
Свыше 37 до 55	90	94	97	99	101	104
Свыше 55 до 110	94	97	100	102	104	106
Свыше 110 до 220	98	100	103	105	107	109
Свыше 220 до 400	100	104	106	107	108	110

Безотказность — это свойство двигателя непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторой наработки и некоторого времени.

Долговечность — это свойство двигателя сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

В практике взаимодействия изготовителя и потребителя асинхронных двигателей общего назначения сложились следующие требования к долговечности и безотказности:

средний срок службы станины, вала, подшипниковых щитов и сердечников не менее 15 лет при наработке не более 40 000 ч;

наработка обмоток статора 20 000 ч при вероятности безотказной работы 0,8—0,9;

наработка подшипников 12 000—20 000 ч при вероятности безотказной работы 0,98—0,99.

Требования к надежности непрерывно возрастают в связи с повышением электровооруженности механизмов. Ущерб от отказа двигателя пропорционален электровооруженности, так как при отказе одного из двигателей механизма простаивает весь объект [3].

Данные по надежности и долговечности асинхронных электродвигателей советского производства приводятся в нормативных документах, начиная с 1972 г.

3. Конструкция

Степень защиты. Степень защиты для электрических машин установлена в ГОСТ 17494-72. Характеристики степеней защиты и их обозначения определены в ГОСТ 14254-80. Этот стандарт устанавливает степени защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением или движущимися частями, находящимися внутри машины, и от попадания твердых посторонних тел и воды внутрь машины.

Степени защиты обозначаются двумя латинскими буквами IP (International Protection) и двумя цифрами. Первая цифра обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с движущимися или находящимися под напряжением частями, а также степень защиты от попадания внутрь машины твердых посторонних тел (табл. 9).

Т а б л и ц а 9

Первая цифра	Степень защиты
0	Специальная защита отсутствует
1	Защита от проникновения внутрь оболочки большого участка поверхности человеческого тела, например руки, и от проникновения твердых тел размером свыше 50 мм
2	Защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной не более 80 мм и от проникновения твердых тел размером свыше 12 мм
3	Защита от проникновения внутрь оболочки твердых тел (инструментов, проволоки и т. п.) диаметром или толщиной более 2,5 мм
4	Защита от проникновения внутрь оболочки проволоки и твердых тел размером более 1,0 мм
5	Защита от пыли. Проникновение внутрь оболочки пыли не предотвращено полностью, однако пыль не может проникать в количестве, достаточном для нарушения работы изделия.
6	Пыленепроницаемость. Проникновение пыли предотвращено полностью

Вторая цифра обозначает степень защиты от проникновения воды внутрь машины (табл. 10).

Степени защиты, используемые в конструкции асинхронных двигателей общего назначения, представлены в табл. 11.

У электрических машин со степенью защиты IP43 и выше, имеющих внешний вентилятор, насаженный на ко-

Таблица 10

Вторая цифра	Степень защиты
0	Степень защиты отсутствует
1	Защита от капель воды. Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного действия на изделие
2	Защита от капель воды. Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного действия на изделие при наклоне его на любой угол до 15° относительно нормального положения
3	Защита от дождя. Дождь, падающий на оболочку под углом до 60° от вертикали, не должен оказывать вредного действия на изделие
4	Защита от брызг. Вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного действия на изделие
5	Защита от водяных струй. Струя воды, выбрасываемая в любом направлении на оболочку, не должна оказывать вредного действия на изделие
6	Защита от волн воды. Вода при волнении не должна попадать внутрь оболочки в количестве, достаточном для повреждения изделия

Таблица 11

Степени защиты персонала от соприкосновения и попадания посторонних тел	Степень защиты от проникновения воды						
	0	1	2	3	4	5	6
0	IP00	IP01	—	—	—	—	—
1	IP10	IP11	IP12	IP13	—	—	—
2	IP20	IP21	IP22	IP23	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	IP43	IP44	—	—
5	—	—	—	—	IP54	IP55	IP56

нец вала, степень защиты кожуха вентилятора не должна быть меньше IP20.

У машин со степенью защиты IP43 или IP44, имеющих внешний вентилятор и продуваемый воздухом ротор, степень защиты отверстий для прохода воздуха через ротор не должна быть меньше IP23.

Со стороны выхода воздуха должна быть обеспечена защита от соприкосновения пальца с вращающимся вентилятором и от попадания посторонних твердых тел диаметром более 50 мм.

Способы охлаждения. Обозначения способов охлаждения устанавливает ГОСТ 20459-75. Способы охлаждения обозначаются двумя латинскими буквами IC (International Cooling) и характеристикой цепи охлаждения.

Каждая цепь охлаждения машины имеет характеристику, обозначаемую латинской буквой, указывающей вид хладагента, и двумя цифрами. Первая цифра обозначает устройство цепи для циркуляции хладагента, вторая — способ подвода энергии для циркуляции хладагента. Если машина имеет две или более цепи охлаждения, то в обозначении указываются характеристики всех цепей охлаждения. Если воздух является единственным хладагентом машины, то разрешается опускать букву, обозначающую природу газа.

В асинхронных двигателях применяются следующие способы охлаждения:

- IC01 — двигатели со степенями защиты IP20, IP22, IP23 с вентилятором, расположенным на валу двигателя;
- IC05 — двигатели со степенями защиты IP20, IP22, IP23 с пристроенным вентилятором, имеющим независимый привод;
- IC0041 — двигатели со степенями защиты IP43, IP44, IP54 с естественным охлаждением;
- IC0141 — двигатели со степенями защиты IP43, IP44, IP54 с наружным вентилятором, расположенным на валу двигателя;
- IC0541 — двигатели со степенями защиты IP43, IP44, IP54 с пристроенным вентилятором, имеющим независимый привод.

Классы нагревостойкости системы изоляции. Изоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, разделяются по нагревостойкости на классы по ГОСТ 8865-70.

Изоляционный материал относится к тому или иному классу в зависимости от максимальной допустимой температуры (табл. 12). Двигатели работают при различных температурах окружающего воздуха. За номинальную температуру окружающего воздуха для умеренного климата, если не оговорено противное, по ГОСТ 15150-69 принимают температуру 40°C. Предельно допустимое превышение температуры обмотки двигателя получается вычитанием из температурного индекса системы изоляции числа 40 (табл. 12).

Таблица 12

Класс нагревостойкости системы изоляции	Температурный индекс материала, °C	Максимальное допустимое превышение температуры наиболее нагретой точки, °C	Максимальное допустимое превышение средней температуры обмотки, измеренное по методу сопротивления, °C
Е	120	80	75
В	130	90	80
Ф	155	115	100
Н	180	140	125

Превышение температуры обмотки обычно измеряют методом сопротивления.

Превышение температуры для обмоток из медного провода рассчитывается по формуле

$$\Theta_{об} - \Theta_{ср} = \frac{R - R_0}{R_0} (235 + \Theta_0) + \Theta_0 - \Theta_{ср},$$

где $\Theta_{об}$ — температура обмотки в конце испытания, °C; Θ_0 — температура обмотки в холодном состоянии, °C; $\Theta_{ср}$ — температура охлаждающего агента в конце испытания, °C; R — сопротивление обмотки в конце испытания, Ом; R_0 — сопротивление обмотки в холодном состоянии (при температуре Θ_0), Ом.

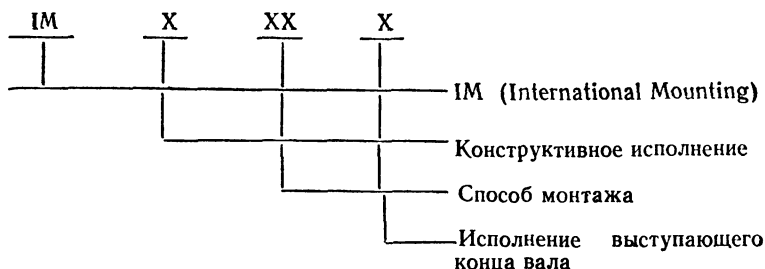
Температура обмотки, измеренная по методу сопротивления, ниже температуры наиболее нагретой точки, поэтому температуры, определенные этим методом, не должны превышать значений, указанных в четвертом столбце табл. 12.

При выборе более высокого класса нагревостойкости (например, Ф вместо В) могут быть достигнуты на выбор две цели:

- 1) увеличение мощности двигателя при неизменном теоретическом сроке службы,
- 2) увеличение срока службы и надежности при неизменной мощности.

В большинстве случаев применение более нагревостойкой изоляции имеет целью повысить надежность двигателя в тяжелых условиях работы.

Исполнение по способу монтажа. Конструктивные исполнения по способу монтажа устанавливаются ГОСТ 2479-79.



Структура обозначения монтажного исполнения:
Первая цифра в обозначении — конструктивное исполнение:

- 1 — двигатели на лапах, с подшипниковыми щитами;
- 2 — двигатели на лапах, с подшипниковыми щитами и с фланцем на подшипниковом щите (или щитах);
- 3 — двигатели без лап, с подшипниковыми щитами, с фланцем на одном подшипниковом щите;
- 4 — двигатели без лап, с подшипниковыми щитами, с фланцем на станине;
- 5 — двигатели без подшипниковых щитов.

Цифры 6—9 — в асинхронных двигателях общего назначения не применяются.

Вторая и третья цифры — способ монтажа (табл. 13).

Четвертая цифра — исполнение конца вала:

- 0 — без конца вала;
- 1 — с одним цилиндрическим концом вала;
- 2 — с двумя цилиндрическими концами вала;
- 3 — с одним коническим концом вала;
- 4 — с двумя коническими концами вала.

Цифры 5—9 — в асинхронных двигателях общего назначения не применяются.

Конструктивная схема базового ряда. Конструкция двигателя определяется степенью защиты, способом охлаждения и способом монтажа. По конструктивному исполнению асинхронные двигатели общего назначения делятся на две основные группы: закрытые обдуваемые со степенями защиты IP44 и IP54 и защищенные — со степенями защиты IP22 и IP23.

Закрытые обдуваемые двигатели (рис. 6) имеют станину с продольными охлаждающими ребрами, отлитую из чугуна или алюминиевого сплава. Обдув осуществляется внешним вентилятором, закрытым направляющим кожухом. Способ охлаждения IC0141.

Вторая цифра	Третья цифра								Установка или монтаж
	0	1	2	3	4	5	6	7	8*
0	IM1001 	IM1011 	IM1021*1 	IM1031 	IM1041*2 	IM1051 	IM1061 	IM1071 	IM1081 Крепление к основанию, стене или потолку
0	IM2001 	IM2011 	IM2021*1 	IM2031 	IM2041*2 	IM2051 	IM2061 	IM2071 	IM2081 Крепление к основанию, стене или потолку с помощью монтажных лапок с дополнительными креплением фланца
1	IM2101 	IM2111 	IM2131 	—	IM2151 	IM2161 	IM2171 	IM2181 Крепление к основанию, стене или потолку с помощью монтажных лапок с дополнительными креплением фланца	—
0	IM3001 	IM3011 	IM3021*1 	IM3031 	IM3041*2 	—	—	—	IM3081 Крепление с помощью фланца
6	IM3601 	IM3611 	IM3621*1 	IM3631 	IM3641*2 	—	—	—	IM3681 Крепление с помощью фланца
0	—	IM5010 	—	—	—	—	—	—	— Встраиваемое исполнение
2	—	IM5210 	—	—	—	—	—	—	— Крепление станины со стороны приводного механизма

*1. Способ монтажа соответствует цифрам 0 и 1.

*2. Способ монтажа соответствует цифрам 0, 1 и 3.

*3. Цифра 8 означает, что машина может работать при любом направлении конца вала.

Защищенные двигатели (рис. 7) имеют станину с отверстиями для выхода воздуха и подшипниковые щиты с отверстиями для входа воздуха. На внутренней поверхности станины предусмотрены выступы, образующие каналы для прохода воздуха в аксиальном направлении. Воздух прогоняется через двигатель вентилятором, отлитым вместе с короткозамыкающими кольцами ротора. Для направления воздуха внутри двигателя служат диффузоры, установленные на обоих подшипниковых щитах. Способ охлаждения IC01, система вентиляции — радиальная симметричная двусторонняя.

Сердечники статора и ротор выполнены из штампованных листов электротехнической стали. Беличья клетка ротора — литая из алюминиевого сплава. Ротор динамически балансируют без шпонки на свободном конце вала. Ротор двигателя выполняемого по нормам DIN, балансируют со шпонкой.

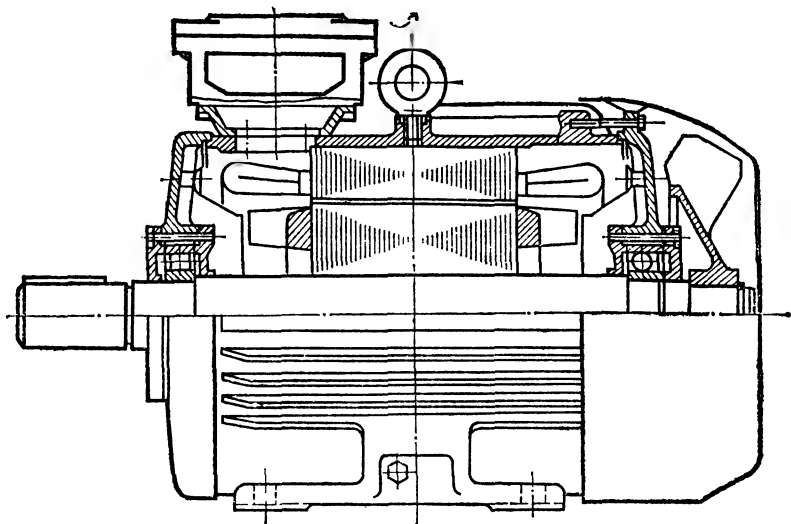


Рис. 6. Закрытый обдуваемый двигатель (степень защиты IP44)

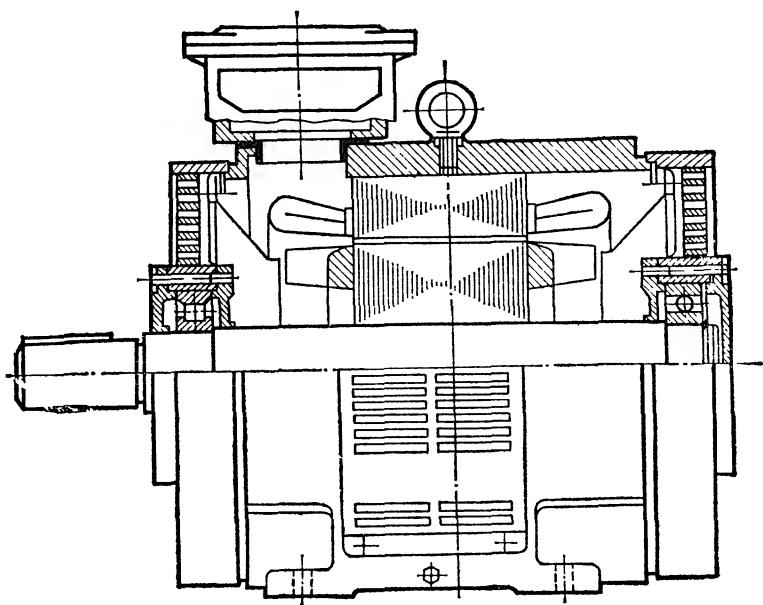


Рис. 7. Защищенный двигатель (степень защиты IP23)

Обмотка статора всыпная из круглого эмалированного провода. В двигателях с высотой оси вращения свыше 280 мм применяются также и жесткие секции из прямоугольного провода.

В двигателях серии 4А с высотами оси вращения до 132 мм (в модернизированной серии 4АМ — до 180 мм) включительно применены шарикоподшипники с постоянно заложенной смазкой на весь срок службы. В двигателях серии 4А с высотами оси вращения от 160 мм и выше со стороны выступающего конца вала (в модернизированной серии 4АМ — от 200 мм) применены роликоподшипники, с противоположной стороны — шарикоподшипники. Исключение составляют двухполюсные двигатели и двигатели с фланцами (монтажные исполнения ИМ2 и ИМ3).

Двигатели, в которых предусматривается замена смазки, выпускаются с двумя разновидностями подшипниковых узлов. В первом случае конструкция подшипникового узла позволяет частично удалить и пополнить смазку без разборки двигателя и отсоединения его от приводимого механизма (рис. 8), во втором случае для пополнения смазки необходимо отсоединение двигателя от механизма и частичная разборка двигателя (рис. 9).

Вводное устройство двигателя серии 4А с высотами оси вращения до 250 мм включительно расположено на корпусе сверху. В двигателях с высотами оси вращения до 90 мм включительно до-

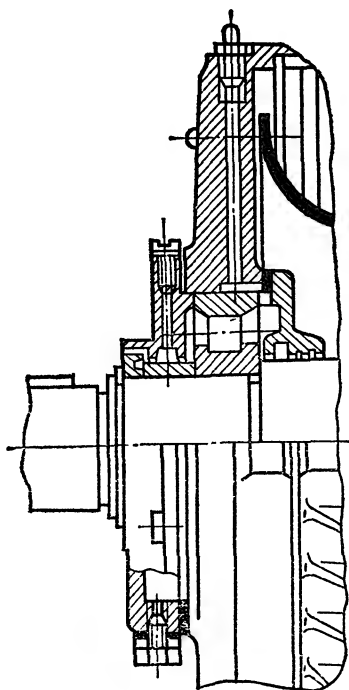


Рис. 8. Конструкция подшипникового узла с пополнением смазки

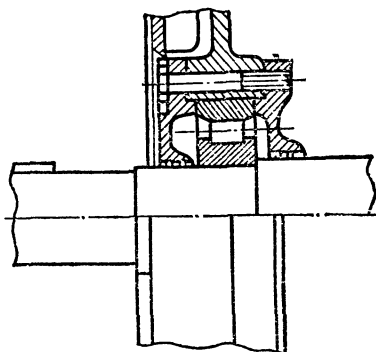


Рис. 9. Конструкция подшипникового узла

пускается поворот вводного устройства с фиксацией через 90°. В остальных двигателях допускается поворот на 180° с фиксацией. Вводное устройство двигателей серии 4А с высотами оси вращения свыше 250 мм расположено сбоку.

При повороте вводного устройства для присоединения кабеля справа или слева не нужно отсоединять концы обмотки статора от панели выводов.

Подсоединение двигателей к сети осуществляется кабелями или проводами с медными или алюминиевыми жилами.

Варианты вводного устройства с одним или двумя штуцерами, а также с удлинителем для заливки места подвода кабельной массой приведены в табл. 14. Применение удлинителя возможно также и без заливки.

Т а б л и ц а 14

Обозначение	Состав
К-3-1	С панелью выводов и одним штуцером
К-3-2	То же с двумя штуцерами
К-3М	То же с удлинителем
К-2-1	Без панели выводов с одним штуцером
К-2-2	То же с двумя штуцерами

4. Структура серий асинхронных двигателей

Терминология серий. *Серия* — ряд электрических машин, объединенных общностью принципа электромагнитного преобразования энергии, общностью конструкции, имеющих общее наименование, с закономерно возрастающим определяющим параметром. У асинхронных двигателей общего назначения в качестве определяющего параметра выступает высота оси вращения [4].

Пример. Серия асинхронных двигателей 4А.

Подсерия — часть машин серии, сгруппированных по общности механических характеристик и степени защиты.

Пример. Подсерия асинхронных двигателей с фазным ротором 4АНК.

Тип — совокупность машин подсерии, имеющих одинаковый определяющий параметр (высоту оси вращения).

Пример. Асинхронные двигатели с повышенным пусковым моментом высоты оси вращения 180 мм.

Типоразмер — совокупность машин, имеющих одинаковые рабочие свойства: мощность, частоту вращения и механическую характеристику.

Пример. Двигатель 4АС132М8.

Базовый двигатель — конкретный двигатель, основные составные части которого применяются для конструирования изделий ряда.

Базовый ряд (базовая подсерия) — подсерия, составленная из всех базовых двигателей серии.

Модификация — двигатель, созданный на основе базового двигателя, имеющий различия в конструкции, изменяющие рабочие свойства, область применения или определяющие его назначение.

Специализированная модификация — разновидность двигателя, удовлетворяющая повышенным требованиям эксплуатации в отношении условий работы.

Различают специализированные модификации по точности установочных и присоединительных размеров и модификации по условиям окружающей среды.

Узкоспециализированная модификация — разновидность двигателя, предназначенная для работы в узкоспециальных областях.

Назначение двигателей. Двигатели базового ряда предназначены для нормальных условий работы в приводах, не требующих регулирования скорости. Для тяжелых условий пуска применяются двигатели с повышенным моментом, двигатели с повышенным скольжением и двигатели с фазным ротором. Под тяжелыми условиями пуска понимается пуск при постоянном статическом моменте и с моментом инерции нагрузки, не превосходящем 10-кратного значения момента инерции ротора, или пуск при параболической зависимости статического момента нагрузки от частоты вращения, но при моменте инерции нагрузки, превышающем 10-кратное значение. Для приводов, требующих регулирования скорости при постоянной частоте сети, применяются многоскоростные двигатели и двигатели с фазным ротором.

Двигатели с повышенным пусковым моментом предназначены для привода механизмов с высокими статическими или динамическими моментами на валу — транспортеров, центрифуг, поршневых компрессоров, мешалок. Двигатели спроектированы на базе двигателей базового ряда со степенью защиты IP44 (IP54) с высота-

ми оси вращения 160—250 мм. Двигатели с повышенным пусковым моментом отличаются от базовых только формой паза ротора и обмоточными данными.

Номинальная мощность двигателей с повышенным пусковым моментом такая же, как и у базовых двигателей. Двигатели выпускаются на частоты вращения 1500, 1000 и 750 об/мин. Начальный пусковой и минимальный моменты двигателей с повышенным пусковым моментом примерно в 1,6 раза выше, чем у базовых двигателей, максимальный момент и пусковой ток такие же, как у базовых двигателей.

Типовая механическая характеристика двигателя с повышенным пусковым моментом показана на рис. 2.

Энергетические характеристики двигателей с повышенным пусковым моментом ниже, чем у базовых двигателей: коэффициент мощности на 0,03—0,05, КПД примерно на 0,5 %

Двигатели с повышенным скольжением для привода механизмов с пульсирующей нагрузкой, частыми или тяжелыми пусками, реверсами. Номинальный режим работы — повторно-кратковременный S3. Номинальная мощность задана для продолжительности включения ПВ = 40 %. Мощность для других значений ПВ, а также для длительного режима S1 определяется по каталогу или приближенно по формуле

$$P_{ПВ} = P_{ном} (ПВ/40)^{\beta},$$

где

$$\begin{aligned} \beta &= -0,25 \text{ при } 2p=2; & \beta &= -0,23 \text{ при } 2p=4; \\ \beta &= -0,26 \text{ при } 2p=6; & \beta &= -0,29 \text{ при } 2p=8. \end{aligned}$$

Двигатели также могут работать в режимах S2, S4, S8. Значения мощностей двигателей для режимов S2 и S6 по отношению к мощности в режиме S1 приведены в табл. 15.

Таблица 15

Высота оси вращения, мм	Относительная мощность P/P_{S1} при							
	длительности цикла в режиме S2, мин				ПВ в режиме S6, %			
	10	30	60	90	15	25	40	60
71—132	1,5	1,2	1,1	1,05	1,8	1,5	1,25	1,15
160—250	1,7	1,3	1,1	1,05	2,0	1,7	1,45	1,20

Расчет допустимого числа пусков или реверсов при работе двигателя в режиме S4 приводится в § 22.

Двигатели с повышенным скольжением спроектированы на основе двигателей базового ряда со степенью защиты IP44 (IP54) с высотами оси вращения 71—250 мм и отличаются от базовых размерами паза ротора и материалом беличьей клетки.

Скольжение при номинальной нагрузке у двигателей с повышенным скольжением в 2—3 раза выше, чем у базовых, а критическое скольжение составляет около 0,4, что достигается заливкой ротора сплавом с повышенным сопротивлением ($\rho = 10^{-7}$ Ом·м) и уменьшением сечения стержней ротора. Типовая механическая характеристика двигателя с повышенным скольжением приведена на рис. 2. Благодаря повышенному сопротивлению ротора начальный, пусковой и минимальный моменты двигателя примерно соответствуют значениям этих величин у двигателей с повышенным пусковым моментом. Коэффициент полезного действия двигателей с повышенным скольжением ниже, чем у базовых, примерно на 5 %.

Многоскоростные двигатели спроектированы на основе двигателей базового ряда со степенью защиты IP44 или IP54. Они отличаются только обмотками статора и пазами ротора. Число частот вращения может быть две, три или четыре. В серии 4А предусмотрены многоскоростные двигатели со следующими соотношениями частот вращения: 3000/1500, 1500/1000, 1500/750, 1000/500, 1000/750, 3000/1500/1000, 3000/1500/750, 1500/1000/750, 3000/1500/1000/750, 1500/1000/750/500 об/мин.

Двухскоростные двигатели имеют одну полюсопереключаемую обмотку с шестью выводными концами. Обмотка двигателей с соотношением частот вращения 1 : 2 выполняется по схеме Даландера и соединяется в треугольник (Δ) при низшей частоте вращения и в двойную звезду (YY) при высшей частоте вращения (рис. 10, а).

Обмотки двухскоростных двигателей с соотношением частот вращения 2 : 3 и 3 : 4 соединяются либо в тройную звезду (рис. 10, в), либо имеют соединение треугольник—двойная звезда без дополнительной обмотки (рис. 10, а) или с дополнительной обмоткой (рис. 10, б). Трехскоростные двигатели имеют две независимые обмотки, одна из которых выполняется по схеме Даландера и соединяется по схеме Δ /YY. Число выводных концов трехско-

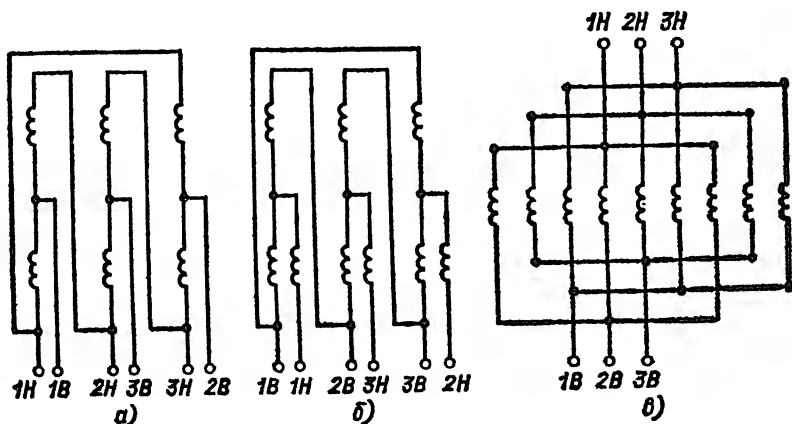


Рис. 10. Схемы соединений обмоток двухскоростных двигателей:

а — $\Delta/\Upsilon\Upsilon$. Низшая скорость — Δ : 1В, 2В, 3В свободны; на 1Н, 2Н, 3Н подается напряжение. Высшая скорость — $\Upsilon\Upsilon$. 1Н, 2Н, 3Н замкнуты между собой; на 1В, 2В, 3В подается напряжение; б — $\Delta/\Upsilon\Upsilon$ с дополнительной обмоткой. Низшая скорость — $\Upsilon\Upsilon$ с дополнительной обмоткой: 1В, 2В, 3В замкнуты между собой; на 1Н, 2Н, 3Н подается напряжение. Высшая скорость — Δ : 1Н, 2Н, 3Н свободны; на 1В, 2В, 3В подается напряжение; в — $\Upsilon\Upsilon\Upsilon$. Низшая скорость: 1В, 2В, 3В свободны, на 1Н, 2Н, 3Н подается напряжение. Высшая скорость: 1Н, 2Н, 3Н свободны, на 1В, 2В, 3В подается напряжение

ростного двигателя — девять. Четырехскоростные двигатели имеют две полюсопереключаемые по схеме Даландера независимые обмотки с шестью выводными концами каждая. Мощность двигателей при различных частотах вращения указана в каталоге. Соотношение мощностей при высшей и низшей частотах вращения ориентировочно можно определить по формуле

$$P_B/P_H \approx (n_B/n_H)^\alpha,$$

где P_B и P_H — номинальные мощности при высшей n_B и низшей n_H — частотах вращения; α — коэффициент в зависимости от сочетания частот вращения равен: 0,4—0,5 — для частот вращения 3000/1500 и 1500/1000 об/мин, 0,6—0,7 — для частот вращения 1000/750 и 1500/750 об/мин, 0,8—1 — для частот вращения 1000/500 об/мин.

Кратности пусковых моментов всех многоскоростных двигателей не ниже 1,2 для низшей частоты вращения и не ниже 1,0 для высшей частоты вращения. Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности ниже, чем у двигателей базового ряда соответствующих мощностей и частот вращения.

Двигатели с фазным ротором предназначены для привода механизмов, требующих регулирования частоты вращения вниз от номинальной в небольших пределах (1 : 5) (лебедки, шахтные подъемные машины, волочильные станы), а также механизмов с тяжелым и длительным пуском (центрифуги, крупные центробежные вентиляторы). Двигатели спроектированы в двух исполнениях по степени защиты: IP44 (рис. 11) и IP23 (рис. 12).

Двигатели с фазным ротором имеют одинаковые с базовыми станины, сердечники, обмотки статора, подшипниковые щиты и вводные устройства, за исключением случаев, когда для машин с разными длинами сердечника предусмотрена одна станина.

Двигатели с фазным ротором со степенью защиты IP23, как правило, имеют такую же мощность, что и двигатели базового ряда. Мощности двигателей с фазным ротором со степенью защиты IP44 ниже мощностей соответствующих двигателей базового ряда на одну ступень шкалы мощностей.

В табл. 16 указаны значения мощностей двигателей с фазным ротором, выпускаемых в составе серии 4А.

Обмотки роторов двигателей с высотами оси вращения от 160 до 200 мм включительно — трехфазные петлевые всыпные, двигателей с высотами оси вращения

Таблица 16

Высота оси вращения, мм	Условная длина станины, длина сердечника	Мощность, кВт					
		Степень защиты IP44			Степень защиты IP23		
		2р=4	2р=6	2р=8	2р=4	2р=6	2р=8
160	S	11	7,5	5,5	15	—	—
	M	15	11	7,5	18,5	—	—
180	S	—	—	—	22	13	11
	M	18,5	15	11	30	18,5	15
200	M	22	18,5	15	37	22	18,5
	L	30	22	18,5	45	30	22
225	M	37	30	22	55	37	30
250	SA	45	—	—	75	45	37
	SB	55	37	30	90	55	45
	M	75	45	37	110	75	55
	S	—	—	—	132	90	75
280	M	—	—	—	160	110	90
	S	—	—	—	200	132	110
315	M	—	—	—	250	160	132
	S	—	—	—	315	200	160
355	S	—	—	—	400	250	160
	M	—	—	—	—	—	200

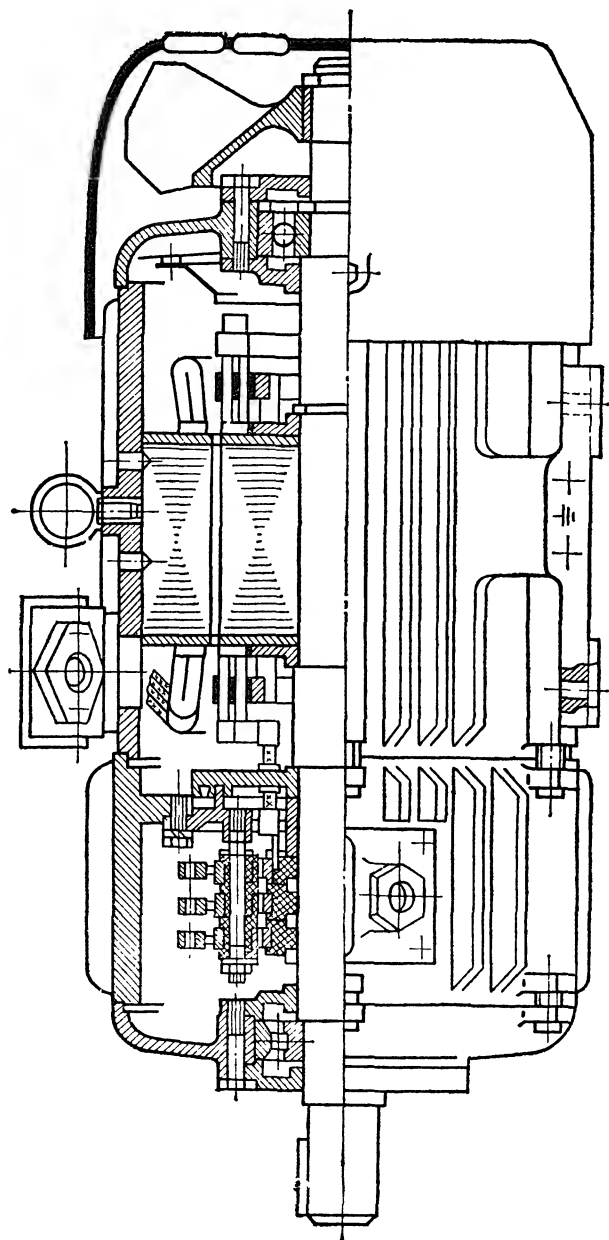


Рис. 11. Двигатель с фазным ротором со степенью защиты IP44

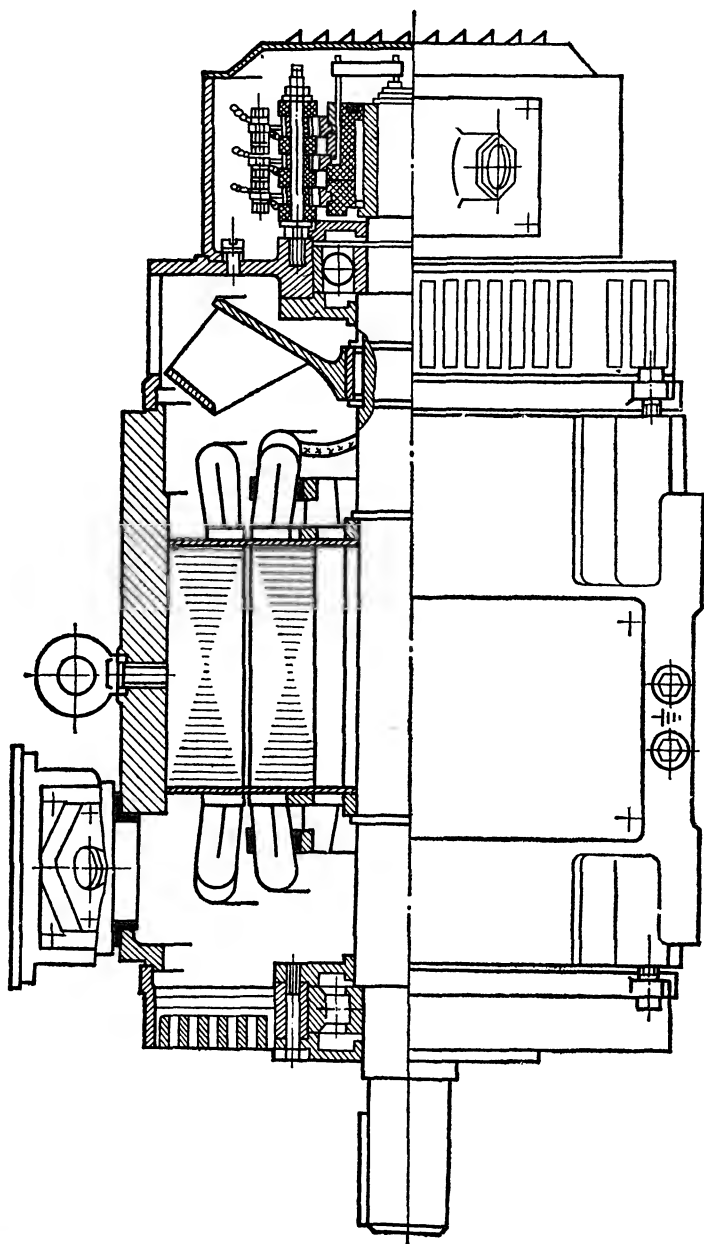


Рис. 12 Двигатель с фазным ротором со степенью защиты IP23

225 — 355 мм — трехфазные волновые стержневые. Фазы обмотки ротора соединяются в звезду, концы выводятся на контактные кольца. Токосъемный узел имеет постоянно прилегающие щетки.

Токосъемный узел двигателей со степенью защиты IP44 заключен под оболочкой двигателя; токосъемный узел двигателей со степенью защиты IP23 вынесен за оболочку и располагается со стороны, противоположной выступающему концу вала. Пусковой момент двигателя с фазным ротором зависит от значения сопротивления, включенного в цепь ротора, и поэтому в каталогах не указывается. Значения максимального момента, напряжения на контактных кольцах и номинального тока ротора указываются в каталогах. Пусковой ток и пусковой момент можно изменять плавно и в широких пределах в зависимости от числа ступеней и сопротивлений пускового устройства. Сопротивления ступеней можно определить по формулам

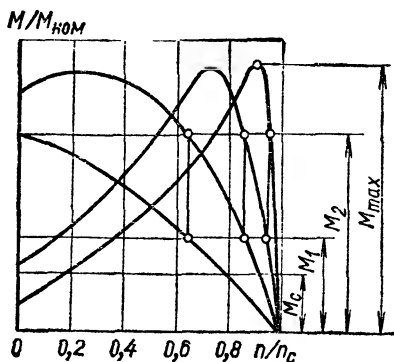


Рис. 13. Механические характеристики двигателя с фазным ротором при последовательном включении z ступеней пускового реостата

$$\begin{aligned} r_z &= r_2 (\lambda - 1); \\ r_{z-1} &= r_2 \lambda; \\ &\dots\dots\dots \\ r_1 &= r_2 \lambda. \end{aligned}$$

Здесь z — число ступеней пускового устройства; r_2 — активное сопротивление фазы обмотки ротора;

$$\lambda = M_1/M_2,$$

M_1 и M_2 — моменты, при которых производится переключение ступеней пускового устройства (рис. 13),

$$\begin{aligned} \lambda &= \sqrt[z+1]{1/(s_{\text{ном}} M_2)} \text{ — для нормального пуска;} \\ \lambda &= \sqrt[z]{1/(s_{\text{ном}} M_1)} \text{ — для форсированного пуска;} \end{aligned}$$

$S_{\text{ном}}$ — номинальное скольжение. При этом необходимо соблюдение условий

$$M_1 < M_{\text{max}} \text{ и } M_2 > M_c,$$

где M_c — момент сопротивления.

Если необходимо регулировать частоту вращения, в цепь ротора включают регулировочное устройство, ступени которого должны быть рассчитаны на длительную нагрузку (кроме ступеней, рассчитанных на пусковой период).

Двигатели с фазным ротором дороже двигателей с короткозамкнутым ротором. Применение их необходимо или предпочтительно в случаях:

если требуется меньший пусковой ток, а двигатель с короткозамкнутым ротором при переключении обмоток с треугольника на звезду не развивает требуемый пусковой момент. Пусковой момент двигателя с фазным ротором может быть равным номинальному, а пусковой ток при этом также будет равен номинальному;

если требуется высокий пусковой момент. Соответствующим выбором сопротивлений пускового устройства можно получить любое значение пускового момента вплоть до максимального;

если приводимый механизм необходимо пускать в ход только плавно;

если двигатель предназначен для работы в режиме частых пусков и торможений, при котором температура беличьей клетки превышает допустимое значение. То же количество тепла, выделяемое при пуске двигателя с фазным ротором, выделяется в основном в пусковом рестоате. Температура фазной обмотки ротора остается в допустимых пределах.

Двигатели со встроенным электромагнитным тормозом предназначены для привода механизмов, где по условиям технологического процесса требуется быстрая остановка после отключения двигателя. Применение таких двигателей уменьшает длительность цикла и, следовательно, увеличивает их частоту, т. е. способствует увеличению интенсивности производства. Использование механического торможения вместо электрического выгодно тем, что тепло, выделяемое в процессе торможения, рассеивается не двигателем, а тормозным устройством, поэтому двигатель нагревается значительно меньше и частота циклов может быть повышена.

Двигатели со встроенным электромагнитным тормозом изготавливаются на основе двигателей базового ряда, двигателей с повышенным скольжением, с повышенным моментом и двухскоростных двигателей в диапазоне высот оси вращения от 56 до 160 мм включительно. Тормозное устройство располагается со стороны, противоположной выступающему концу вала, и осуществляет быстрое торможение двигателя при отключении питания. При подаче напряжения на двигатель происходит его растормаживание. Тормозная система приводится в действие электромагнитом постоянного тока, который питается от сети через выпрямитель. В двигателях с высотой оси вращения 160 мм для ускорения растормаживания применяется форсирование усилия путем введения дополнительного напряжения, пропорционального пусковому току. Двигатели со встроенным электромагнитным тормозом предназначены для работы в режиме S4. Мощность односкоростных двигателей со встроенным электромагнитным тормозом при $P_B = 40\%$ и мощность двухскоростных двигателей при $P_B = 40/15\%$ при числе включений до 120 ч^{-1} и кратности момента инерции нагрузки до 1,6 соответствует номинальной мощности базовых двигателей.

Встраиваемые двигатели предназначены для встраивания в механизмы. Они поставляются в виде обмотанного статорного сердечника и необработанного ротора без вала в двух вариантах: с центробежным вентилятором и без вентилятора. При поставке двигателей с вентилятором в каталогах указывается размер отверстий для прохода охлаждающего воздуха, при поставке без вентилятора указывается расход воздуха, необходимый для охлаждения двигателя до допустимой температуры. Необходимый расход воздуха можно приблизительно определить из рис. 14. При соблюдении условий охлаждения технические данные встраиваемых двигателей соответствуют техническим данным базовых двигателей. Встраиваемые двигатели выпускаются на базе двигателей основного исполнения, двигателей с повышенным пусковым моментом, двигателей с повышенным скольжением, многоскоростных двигателей и двигателей на частоту 60 Гц. Залитые роторы поставляются в необработанном виде и должны быть обработаны после посадки на вал механизма по размерам, сообщаемым в чертеже. Воздушный зазор должен соответствовать дан-

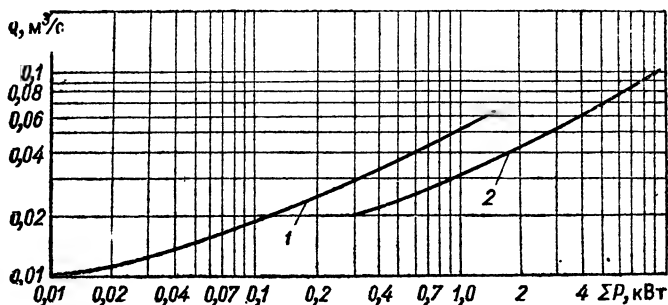


Рис. 14. Зависимость расхода охлаждающего воздуха Q от суммарных потерь ΣP во встраиваемых двигателях с системой изоляции класса В (кривая 1) и F (кривая 2)

ным чертежа с допуском $\pm 25\%$. Собранный и обработанный ротор с валом должен быть отбалансирован. Если предусмотрена поставка вентилятора, балансировка проводится с насаженным вентилятором.

Модификации по условиям окружающей среды. Вредное воздействие окружающей среды на двигатель выражается в разрушении изоляции, защитных покрытий и ускоренном износе подшипников, поэтому предусмотрены различные климатические модификации двигателей, способные надежно работать в специфических средах.

ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70 предусматривают модификации для различных климатических районов, категорий размещения.

ГОСТ 15963-79 устанавливает дополнительные требования к двигателям, предназначенным для работы в условиях тропического климата.

ГОСТ 24682-81 устанавливает дополнительные требования к двигателям, предназначенным для работы в условиях агрессивных сред.

Правила Морского Регистра СССР устанавливают требования к двигателям, предназначенным для эксплуатации в условиях морского климата.

В составе серии 4А имеются следующие модификации по условиям окружающей среды:

модификация УЗ — для умеренного климата. Двигатели выполняются со степенями защиты IP44, IP54 и на высотах осей вращения 160—250 мм — IP23;

модификация Т2 — для тропического климата. Двигатели выполняются со степенями защиты IP44 и IP54;
 модификация OM2 — для условий морского климата. Двигатели выполняются со степенью защиты IP54;
 модификация X2 — для эксплуатации в химически агрессивных средах. Двигатели выполняются со степенью защиты IP54.

Модификации по точности установочных и присоединительных размеров. ГОСТ 8592-79 предусматривает три модификации в зависимости от точности установочных и присоединительных размеров: нормальной, повышенной и высокой точности.

Двигатели повышенной точности изготавливают по технологии двигателей нормальной точности. Повышенная точность размеров достигается отбором двигателей.

Двигатели высокой точности изготавливают по специальной технологии. Эти двигатели применяются только в технически обоснованных случаях.

Напряжения. Для условий СССР асинхронные двигатели выполняются на номинальные напряжения и схемы соединений статорных обмоток (при частоте сети 50 Гц) согласно табл. 17.

Т а б л и ц а 17

Мощность двигателя, кВт	Номинальное напряжение, В	Схема соединения	Число выводов концов
От 0,06 до 0,37	220, 380	Δ, Y	3
От 0,55 до 11	220, 380, 660	Δ, Y	3
От 15 до 110	220/380	Δ / Y	6
От 132 до 400	380/660	Δ / Y	6

По заказу потребителя двигатели могут быть изготовлены на другие напряжения до 660 В и другие схемы соединений.

При колебаниях напряжения в пределах $\pm 5\%$ номинального значения двигатели могут нагружаться номинальной мощностью. При отклонениях напряжения, превышающих 5 %, необходимо иметь в виду следующие последствия:

при уменьшении напряжения увеличивается скольжение, уменьшаются пусковой и максимальный моменты, пусковой ток, увеличиваются ток нагрузки, температура обмотки;

при увеличении напряжения уменьшается скольжение, увеличиваются пусковой и максимальный моменты пропорционально квадрату напряжения, пусковой ток, несколько уменьшается температура обмотки.

Частота сети. Двигатели переменного тока общего назначения в СССР изготавливаются на частоту сети 50 Гц.

Для работы от сети 60 Гц при поставках на экспорт в серии 4А предусмотрена специальная модификация. При питании двигателя от сети с частотой, отличающейся от номинальной частоты двигателя, необходимо учитывать, что свойства его изменяются. Двигатели, спроектированные на 50 Гц, могут использоваться для работы от сети 60 Гц, но их показатели изменяются согласно табл. 18. Частота вращения при этом увеличивается на 20 %.

Т а б л и ц а 18

Напряжение сети 50 Гц, В	Напряжение сети 60 Гц, В	Коэффициент пересчета параметров двигателя, рассчитанного на частоту 50 Гц					
		Допустимая мощность	Допустимый момент	Ток при допустимой мощности	Пусковой момент	Максимальный момент	Пусковой ток
220	220						
380	380						
440	440	1,00	0,83	1,00	0,83	0,83	0,83
500	500						
660	660						
380	440	1,15	0,96	1,00	0,96	0,96	0,96
500	550	1,10	0,91	1,00	0,91	0,91	0,91

Глава вторая

УСЛОВИЯ РАБОТЫ

5. Классификация климатических районов

В процессе эксплуатации на двигатель воздействуют самые разнообразные климатические факторы: температура, влажность, атмосферное давление, солнечная радиация, дождь, пыль, снег, соляной

туман, иней, а также плесневые грибы и коррозионно-активные агенты, содержащиеся в воздухе.

ГОСТ 15150-69 различает следующие макроклиматические районы:

районы с умеренным климатом, в которых средняя из годовых абсолютных максимумов температуры воздуха равна или ниже 40°C , а средняя из годовых абсолютных минимумов температуры равна или выше -45°C ;

районы с холодным климатом, в которых средняя из годовых абсолютных минимумов температуры воздуха ниже -45°C ;

районы с влажным тропическим климатом, в которых температура, равная или большая 20°C , сочетается с относительной влажностью, равной или большей 80 %, 12 ч или более в сутки непрерывно от 2 до 12 мес в году;

районы с сухим тропическим климатом, в которых средняя из годовых абсолютных максимумов температуры воздуха выше 40°C и которые не отнесены к районам с влажным тропическим климатом;

районы с умеренно холодным морским климатом: моря, океаны, прибрежные территории в пределах непосредственного воздействия морской воды, расположенные севернее 30° северной широты и южнее 30° южной широты;

районы с тропическим морским климатом: моря, океаны, прибрежные территории в пределах непосредственного воздействия морской воды, расположенные между 30° северной широты и 30° южной широты. Значения факторов для различных климатических зон приведены в табл. 19. Указанная классификация климатических районов распространяется на высоты до 1000 м над уровнем моря (нижнее рабочее значение атмосферного давления 850 гПа, или 650 мм рт. ст.).

6. Факторы окружающей среды промышленного происхождения

Содержащиеся в воздухе взвешенные твердые частицы, агрессивные пары и газы разрушают изоляцию и защитные покрытия двигателя.

Наибольшее разрушающее воздействие на двигатель оказывают мелкие частицы пыли диаметром до 15 мкм. Такие частицы проникают в пространство между движущимися частями, ограничивают их перемещение, увеличивают износ. Оседая на поверхности изоляции, пыль образует электропроводящие пути. Оседая на поверхности защитных покрытий, пыль в сочетании с влагой ускоряет протекание химических реакций, которые разрушают покрытия.

Таблица 19

Макроклиматические районы	Обозначение климатической модификации	Температура воздуха при		
		рабочая		
		Верхнее значение	Нижнее значение	Среднее значение
Умеренный климат	У	+40	—45	+10
Умеренно холодный (холодный) климат	УХЛ (ХЛ)	+40	—60	+10
Влажный тропический климат	ТВ	+45	+1	+27
Сухой тропический климат	ТС	+45	—10	+27
Умеренно холодный морской климат	М	+40	—30	+10
Тропический морской климат	ТМ	+45	+1	+27

Примечание. Для категории размещения 1 скорость ветра 50 м/мин.

Различают статическое и динамическое воздействие пыли на двигатель. В основном для промышленности характерно статическое воздействие пыли. Для нормальных условий при статическом воздействии допускается концентрация пыли до 10 мг/м^3 . Для двигателей со степенью защиты IP56 допустимая концентрация повышается до 200 мг/м^3 .

Агрессивные пары и газы разрушают изоляцию и защитные покрытия посредством химических реакций на поверхности этих материалов. ГОСТ 24682-81 устанавливает общие технические требования в части стойкости электротехнических изделий к воздействию агрессивных сред.

7. Режим работы

В ГОСТ 183-74 в соответствии с Публикацией 34-1 МЭК систематизированы разнообразные режимы, в которых работают электрические двигатели.

Продолжительный режим работы S1 — работа машины при неизменной нагрузке достаточно длительное время для достижения неизменной температуры всех ее частей (рис. 15).

эксплуатации, °С		Изменение тем-пературы возду-ха за 8 ч, °С	Относительная влажность				Интенсивность дождя, мм/ми:
предельная рабочая			Среднемесечное значе-ние в наиболее теплый и влажный период		Верхнее значение		
Верхнее значение	Нижнее значение		Значение	Продол-жительность, мес			
+45	—50	40	80% при 20°С	6	100% при 23°С	3	
+45	—60	40	80% при 20°С	6	100% при 25°С	3	
+50	+1	10	90% при 27°С	12	100% при 35°С	5	
+55	—10	40	65% при 20°С	12	100% при 20°С	3	
+45	—40	30	90% при 20°С	6	100% при 20°С	5	
+45	+1	10	90% при 27°С	12	100% при 35°С	5	

солнечное излучение 1125 Вт/м².

Кратковременный режим работы S2 — работа маши-ны при неизменной нагрузке в течение времени, недоста-точного для достижения всеми частями машины уста-новившейся температуры, после чего следует остановка машины на время, достаточное для охлаждения маши-ны до температуры, не более чем на 2 °С превышающей температуру окружающей среды (рис. 16).

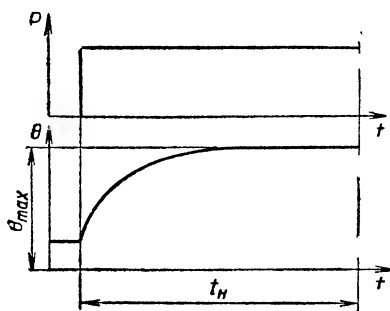


Рис. 15. Продолжительный режим работы S1:

θ_{max} — максимальная температура;
 t_H — время нагружения

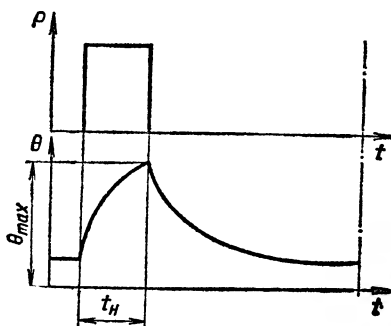


Рис. 16. Кратковременный ре-жим работы S2

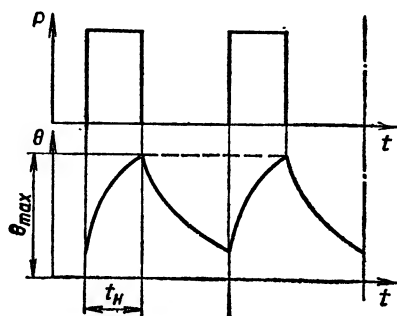


Рис. 17. Повторно-кратковременный режим работы S3

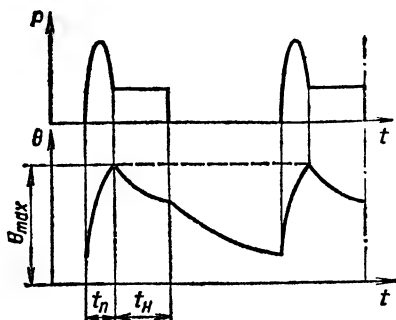


Рис. 18. Повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов S4:

$t_{\text{п}}, t_{\text{т}}$ — время пуска и торможения

Повторно-кратковременный режим работы S3 — последовательность идентичных циклов работы, каждый из которых включает время работы при неизменной нагрузке, за которое машина не нагревается до установившейся температуры, и время стоянки, за которое машина не охлаждается до температуры окружающей среды. Потери при пуске не оказывают влияния на температуру частей машины (рис. 17).

Повторно-кратковременный режим работы с влиянием пусковых процессов S4 — последовательность идентичных циклов работы, каждый из которых включает время пуска, достаточно длительное для того, чтобы пусковые потери оказывали влияние на температуру частей машины, время работы при постоянной нагрузке, за которое машина не нагревается до установившейся температуры, и время стоянки, за которое машина не охлаждается до температуры окружающей среды (рис. 18).

Повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением S5 — последовательность идентичных циклов работы, каждый из которых включает достаточно длительное время пуска, время работы при постоянной нагрузке, за которое машина не нагревается до установившейся температуры, время быстрого электрического торможения и время стоянки, за которое машина не охлаждается до температуры окружающей среды (рис. 19).

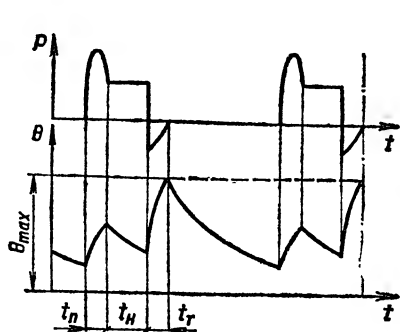


Рис. 19. Повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением S5

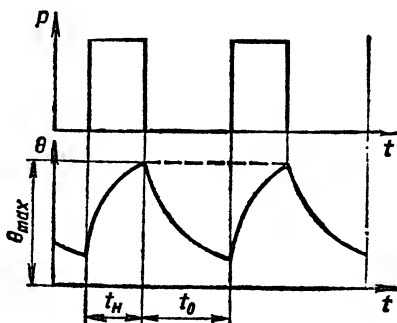


Рис. 20. Перемежающийся режим работы S6:
 t_0 — время холостого хода

Перемежающийся режим работы S6 — последовательность идентичных циклов, каждый из которых включает время работы с постоянной нагрузкой и время работы на холостом ходу, причем длительность этих периодов такова, что температура машины не достигает установившегося значения (рис. 20).

Перемежающийся режим с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением S7 — последовательность идентичных циклов, каждый из которых вклю-

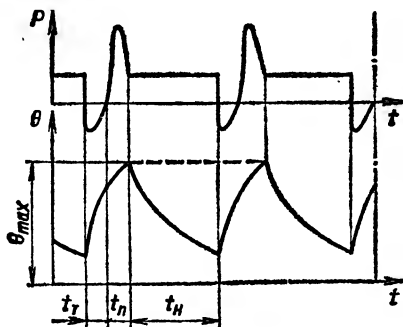
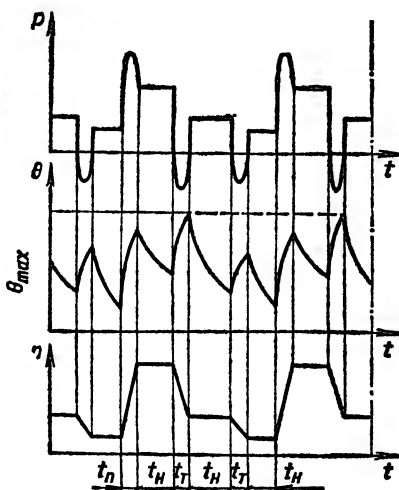


Рис. 21. Перемежающийся режим работы с влиянием пусковых процессов и электрическим торможением S7

Рис. 22. Перемежающийся режим работы с периодически изменяющейся частотой вращения S8



чает достаточно длительный пуск, работу с постоянной нагрузкой и быстрое электрическое торможение. Режим не содержит пауз (рис. 21).

Переключающийся режим с периодически изменяющейся частотой вращения S8 — последовательность идентичных циклов, каждый из которых включает время работы с неизменной нагрузкой и неизменной частотой вращения, затем следует один или несколько периодов при других постоянных нагрузках, каждой из которых соответствует своя частота вращения (например, этот режим реализуется при переключении числа пар полюсов асинхронного двигателя). Режим не содержит пауз (рис. 22).

8. Температура окружающей среды и высота над уровнем моря

Значения номинальной мощности, указанные в ГОСТ 19523-84, справедливы для режима S1 при температуре окружающей среды до 40 °С и высоте установки над уровнем моря до 1000 м. Если температура окружающей среды выше 40 °С или высота установки выше 1000 м, то мощность должна быть снижена. При установке машины на высоте свыше 1000 м мощность может быть сохранена, если на каждые следующие 1000 м температура окружающей среды снижается на 10 %.

Зависимости допустимой мощности от температуры окружающей среды и высоты установки приведены в табл. 20 и 21.

Т а б л и ц а 20

Температура окружающей среды, °С	Коэффициент пересчета мощности при классе нагревостойкости изоляции		
	Е	В	Г
30	1,07	1,06	1,05
35	1,04	1,03	1,02
40	1,00	1,00	1,00
45	0,95	0,96	0,97
50	0,91	0,92	0,94
55	0,86	0,87	0,91
60	0,78	0,82	0,87

Таблица 21

Высота установки, м	Коэффициент пересчета мощности для класса нагревостойкости изоляции			Температура окружающей среды, при которой сохраняется номи- нальная мощность для класса нагревостойкости изоляции, °С		
	Е	В	Ф	Е	В	Ф
До 1000	1	1	1	40	40	40
1000—1500	0,98	0,98	0,98	36,5	36	35
1500—2000	0,96	0,97	0,97	32,5	32	29,5
2000—2500	0,93	0,93	0,94	29	—	—
2500—3000	0,92	0,92	0,93	25	—	—
3000—3500	0,88	0,89	0,90	—	—	—
3500—4000	0,86	0,87	0,88	—	—	—

Если одновременно повышаются температура окружающей среды и высота установки, то для определения допустимой мощности следует перемножить коэффициенты, найденные из обеих таблиц.

9. Вибрации и удары со стороны механизма и фундамента

Двигатели базового ряда и большинство модификаций по устойчивости к механическим воздействиям от внешних источников относятся к группе М1 по ГОСТ 17516-72. Такие двигатели могут устанавливаться непосредственно на стенах и фундаментах предприятий при внешних источниках, создающих вибрации с частотой не ниже 10 и не выше 35 Гц и с максимальным ускорением 0,5 g (4,9 м/с²).

Глава третья

МЕХАНИЗМЫ, ПРИВОДИМЫЕ В ДВИЖЕНИЕ АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

10. Классификация механизмов

Устройства, в которые входят электродвигатели, называются механизмами, машинами, агрегатами, в зависимости от сложности. Отнесение устройств к той или

иной группе зависит от цели классификации. Тем не менее в любом устройстве можно выделить элементарный механизм.

Элементарный механизм — самостоятельное изделие или узел сложного изделия, состоящее из электродвигателя и одного рабочего органа. Элементарные механизмы могут быть общего и специального назначения. Элементарные механизмы общего назначения выпускаются как в качестве самостоятельных изделий, так и в качестве узлов сложных машин и агрегатов. Элементарные механизмы специального назначения являются узлами сложных машин и в качестве самостоятельных изделий, как правило, не выпускаются.

К элементарным механизмам общего назначения относятся вентиляторы, воздуходувки, насосы, смесители, задвижки, дробилки, мельницы, вибраторы, пилы, ножи, питатели, дозаторы, барабаны и т. п. Элементарные механизмы специального назначения — это, как правило, главные приводы различных станков, швейных машин, кузнечно-прессовых машин, прокатных и волочильных станов и т. п.

11. Механические характеристики механизмов

По виду механических характеристик механизмы подразделяются на четыре класса [2, 5].

1. Вращающий момент не зависит от частоты вращения, т. е. мощность прямо пропорциональна частоте вращения. Такую механическую характеристику имеют подъемные механизмы, поршневые насосы и компрессоры при условии работы на постоянное давление, прокатные станы, транспортеры, мельницы, станки с неизменным усилием резания.

2. Вращающий момент возрастает пропорционально частоте вращения, а мощность — квадрату частоты вращения.

3. Момент сопротивления возрастает пропорционально второй степени частоты вращения, мощность — третьей степени частоты вращения. Такую механическую характеристику имеют центробежные насосы, центробежные вентиляторы и воздуходувки, поршневые механизмы, работающие на открытую сеть.

4. Момент сопротивления изменяется обратно пропорционально частоте вращения, мощность постоянна.

12. Типовые режимы работы некоторых механизмов

Режим работы механизма определяется характером технологического процесса, в котором участвует данный механизм. Все процессы можно разделить ориентировочно на три группы: процессы транспортировки, процессы обработки и процессы преобразования энергии. Несмотря на то что каждый процесс может проводиться в любом режиме, все же для процессов транспортировки жидкостей, газов наиболее характерен продолжительный режим, для процессов обработки — повторно-кратковременный, для процессов преобразования энергии — продолжительный.

В табл. 22 приведены типовые режимы для наиболее распространенных механизмов.

Т а б л и ц а 22

Механизм	Режим работы			
	S1	S2	S3	S4
Вентиляторы	+	—	+	—
Воздуходувки	+	—	—	—
Насосы	+	+	+	+
Компрессоры	+	—	—	—
Транспортеры	+	—	+	+
Конвейеры	+	—	—	+
Шнеки	+	+	+	+
Эскалаторы	+	—	—	—
Грузоподъемные механизмы	—	+	+	+
Смесители	+	+	+	—
Мешалки	+	—	—	—
Задвижки	—	—	+	—
Мельницы	+	—	—	—
Дробилки	+	+	+	—
Вибраторы	—	—	+	—
Питатели	+	—	+	—
Пилы, ножи	+	+	+	—
Бараны	+	+	—	—
Механизмы подачи	—	—	+	—
Главный привод:				
металлорежущих станков	—	+	+	—
деревообрабатывающих стан-	—	+	+	—
ков				
пряделных станков	+	—	—	+

П р и м е ч а н и е. Режим S5 характерен для привода конвейеров и деревообрабатывающих станков; режим S6 — для транспортеров, пил и ножей, металлорежущих и деревообрабатывающих станков; режимы S7, S8 — для металлорежущих станков.

бое цилиндрическое, коническое. При косозубом и коническом зацеплениях на вал двигателя, кроме радиальной силы, действует также и аксиальная сила. Для зубчатой передачи коэффициент $C_n = 1,09$.

Балансировка деталей, насаживаемых на свободный конец вала. Допустимый остаточный дисбаланс детали, насаживаемой на свободный конец вала, составляет 20 % остаточного дисбаланса ротора. Если остаточный дисбаланс ротора неизвестен, то допустимый дисбаланс насаживаемой детали, г·мм, определяется по формуле

$$\Delta_d = Me,$$

где M — масса детали, кг; e — допустимый удельный остаточный дисбаланс, определяемый по ГОСТ 12327-79, мкм,

$$\lg e = 10K_T = \left(1 - 0,9 \lg \frac{n}{1000}\right),$$

здесь n — частота вращения, об/мин; K_T — класс точности балансировки.

Для роторов электрических машин устанавливается четыре класса точности балансировки роторов, из которых в двигателях общего назначения используются только два: 6,3 и 2,5. Класс точности балансировки численно равен наибольшему допустимому значению произведения $e\omega$, мм·рад/с, т. е.

$$K_T = e\omega.$$

Для двигателей повышенной и высокой точности установочных размеров класс точности балансировки 2,5. Такой же класс установлен для двигателей с привязкой мощности, принятой в Западной Европе. Для остальных двигателей установлен класс точности балансировки 6,3.

Детали, насаживаемые на свободный конец вала, балансируются со своими шпонками. Оправки балансируются без шпонок. Исключение составляют насаживаемые детали для двигателей с западно-европейской привязкой мощностей, роторы которых балансируются со шпонками. Оправки в этом случае балансируются со шпонками, а насаживаемые детали — без шпонок.

15. Нагрузки на подшипники и свободный конец вала

Сила, действующая на свободный конец вала и подшипник, имеет две составляющие: радиальную и акси-

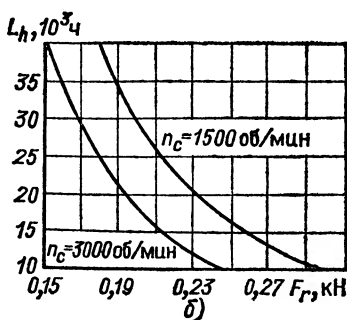
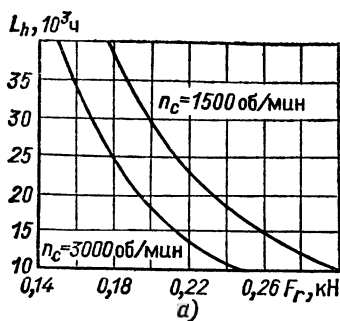


Рис. 24. Зависимость расчетной долговечности подшипников от радиальной силы для двигателей с высотой оси вращения $H=50$ мм, с горизонтальным (а) и вертикальным (б) расположением вала

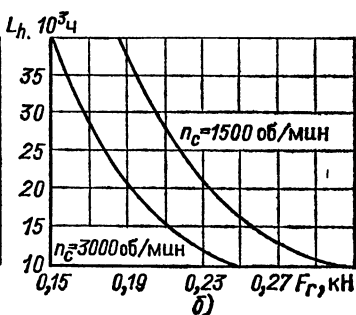
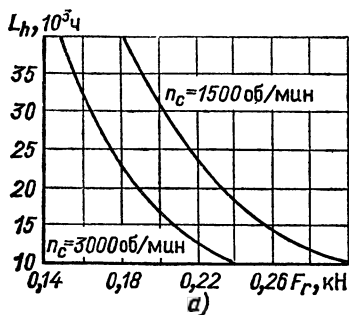


Рис. 25. То же, что и на рис. 24, но $H=56$ мм

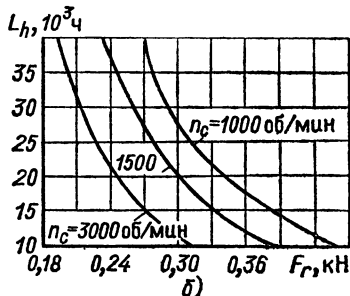
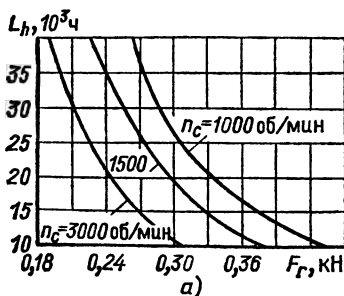


Рис. 26. То же, что и на рис. 24, но $H=63$ мм

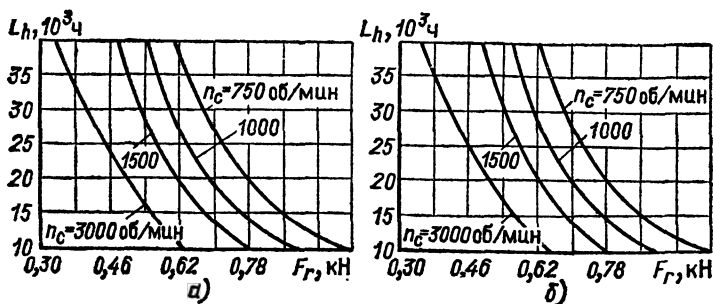


Рис. 27. То же, что и на рис. 24, но $H=71 \text{ мм}$

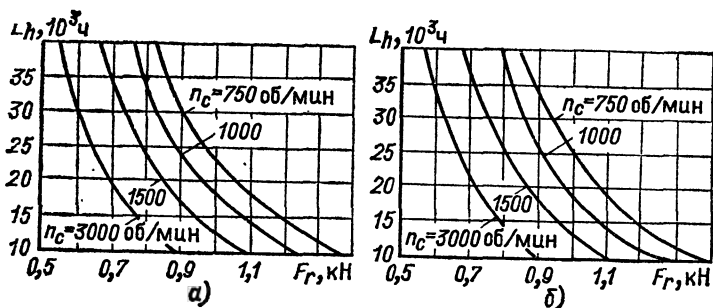


Рис. 28. То же, что и на рис. 24, но $H=80 \text{ мм}$

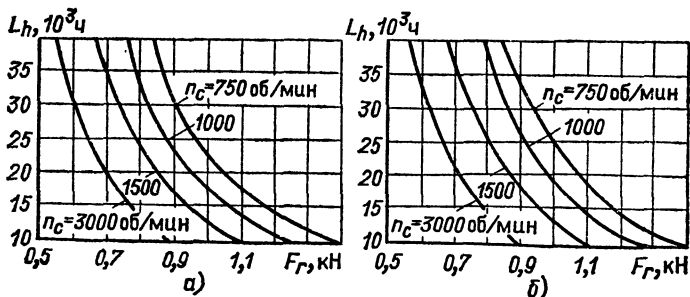


Рис. 29. То же, что и на рис. 24, но $H=90 \text{ мм}$

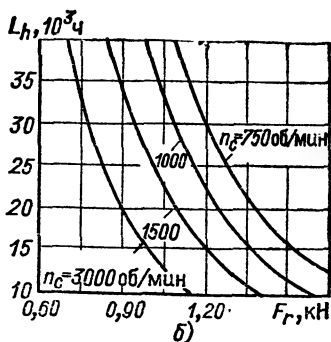
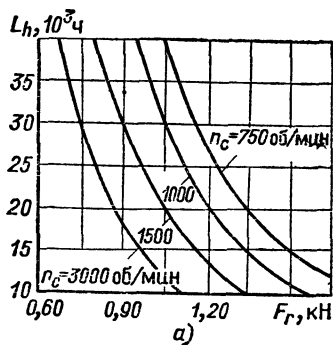


Рис. 30. То же, что и на рис. 24, но $H=100 \text{ мм}$

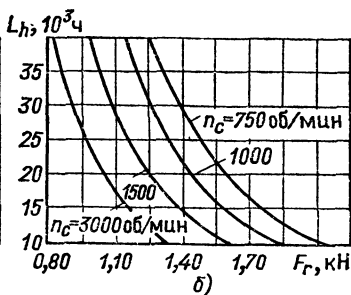
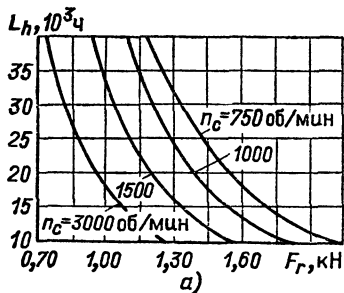


Рис. 31. То же, что и на рис. 24, но $H=112 \text{ мм}$

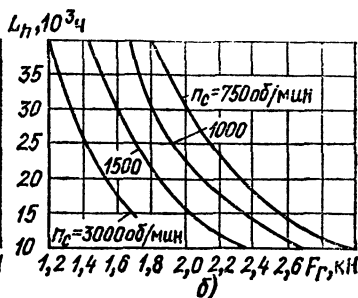
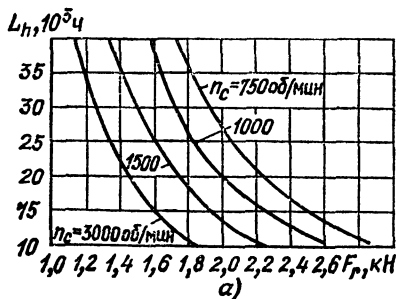


Рис. 32. То же, что и на рис. 24, но $H=132 \text{ мм}$

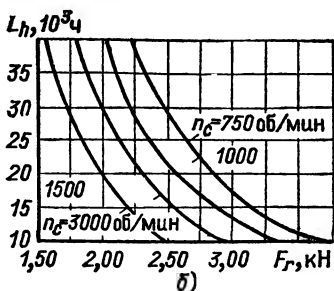
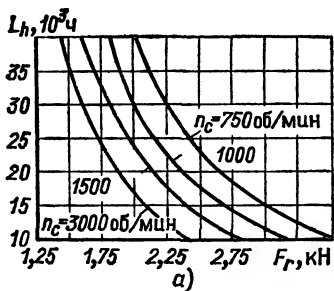


Рис. 33. Зависимость расчетной долговечности подшипников от радиальной силы для двигателей с высотой оси вращения $H=160$ мм с горизонтальным (а) и вертикальным (б) расположением вала. Шарикоподшипник со стороны привода

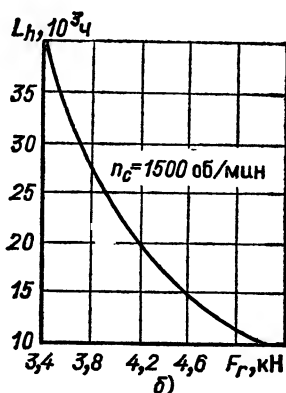
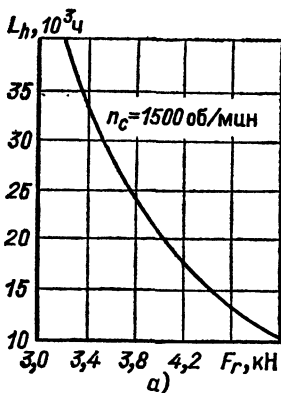


Рис. 34. То же, что на рис. 33, но роликоподшипник со стороны привода

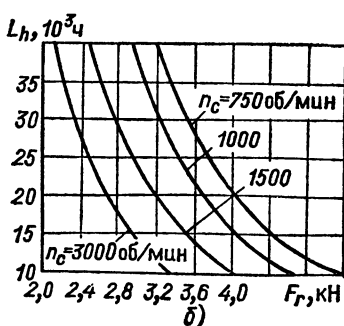
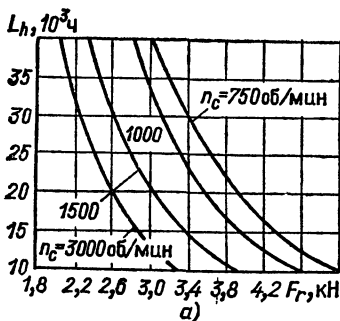


Рис. 35. То же, что на рис. 33, но $H=180$ мм

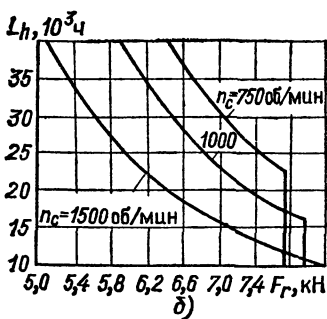
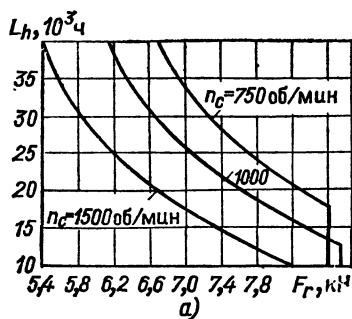


Рис. 36. То же, что на рис. 34, но $H=180$ мм

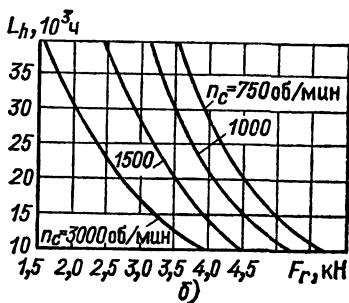
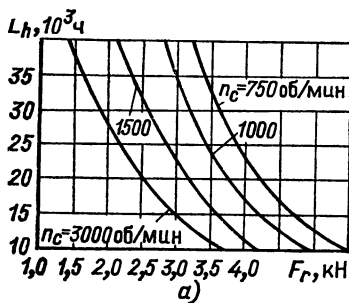


Рис. 37. То же, что на рис. 33, но $H=200$ мм

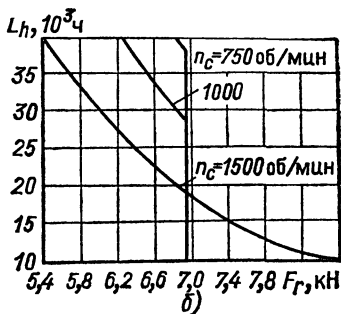
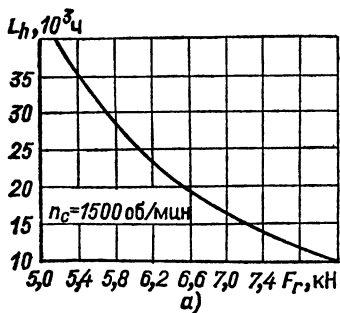


Рис. 38. То же, что и на рис. 34, но $H=200$ мм

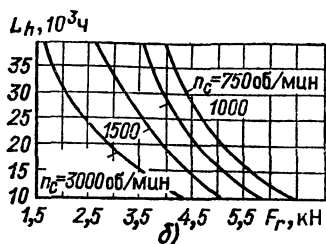
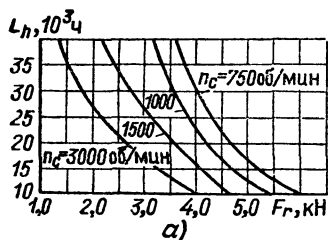


Рис. 39. То же, что и на рис. 33, но $H=225 \text{ мм}$

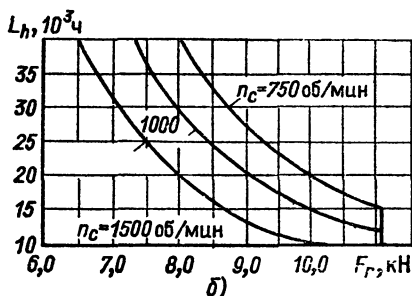
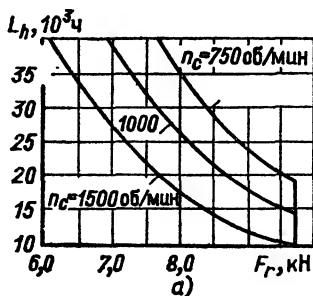


Рис. 40. То же, что и на рис. 34, но $H=225 \text{ мм}$

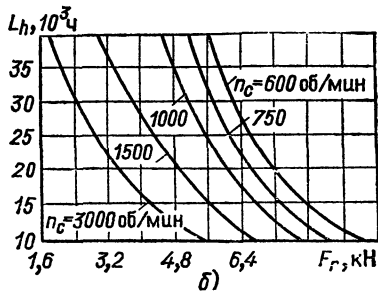
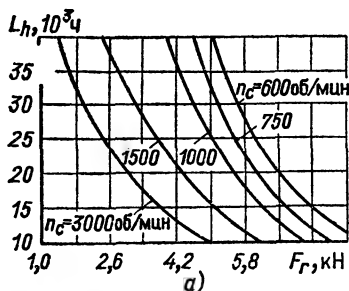


Рис. 41. То же, что и на рис. 33, но $H=250 \text{ мм}$

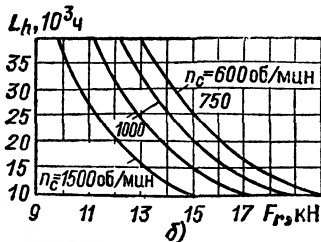
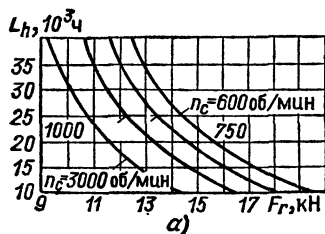
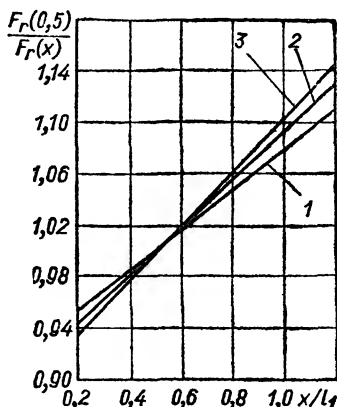


Рис. 42. То же, что и на рис. 34, но $H=250 \text{ мм}$

Рис. 43. Зависимость $F_{r(0,5)}/F_r(x)$ от x/l_1 :

$F_{r(0,5)}$ — предельно допустимая радиальная сила, приложенная по середине выступающего конца вала;
 $F_r(x)$ — предельно допустимая радиальная сила, приложенная в произвольной точке свободного конца вала;
 1 — для двигателей с $H=50 \div 60$ мм;
 2 — для двигателей с $H=200 \div 225$ мм при $n=3000$ об/мин; $H=250$ мм при $n \leq 1500$ об/мин;
 3 — для двигателей с $H=71 \div 180$ мм; $H=200 \div 225$ мм при $n \leq 1500$ об/мин



альную. Долговечность подшипников по-разному зависит от аксиальной и радиальной нагрузок.

Радиальная составляющая возникает от натяжения ремня, веса ротора, одностороннего магнитного притяжения при наличии неравномерного воздушного зазора. Основную часть общей радиальной силы составляет натяжение ремня, которое пропорционально передаваемому моменту и обратно пропорционально диаметру меньшего шкива, а также зависит от типа ременной передачи. Точкой приложения радиальной силы следует считать середину шкива.

На рис. 24—42 показаны зависимости расчетной долговечности подшипников двигателей серии 4А от радиальной силы, приложенной к середине выступающего конца вала. Если радиальная сила приложена не к середине выступающего конца вала, то предельно допустимую силу можно определить по рис. 43.

Аксиальная сила, действующая на подшипник, может быть вызвана: реакцией осевого вентилятора, расположенного на валу двигателя; весом ротора при вертикальном расположении всего двигателя; составляющей крутящего момента при косозубом и коническом зацеплениях.

Наличие аксиальной составляющей уменьшает допустимую радиальную нагрузку. На рис. 44—57 показаны допустимые радиальные нагрузки на выступающий конец вала в зависимости от аксиальной нагрузки.

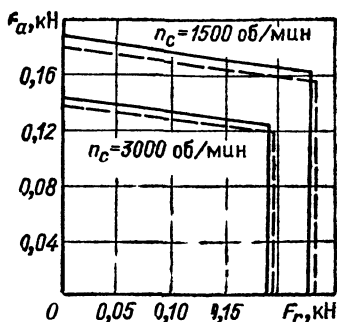
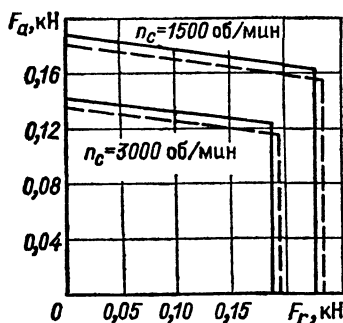


Рис. 44. Зависимость предельно допускаемой аксиальной силы от радиальной силы, приложенной посредине выступающего конца вала, для двигателей с $H=50$ мм:

— вал расположен горизонтально; — — — вал расположен вертикально

Рис. 45. То же, что на рис. 44, но $H=56$ мм

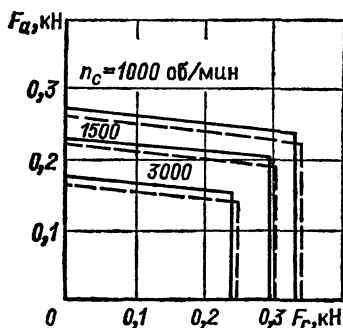


Рис. 46. То же, что на рис. 44, но $H=63$ мм

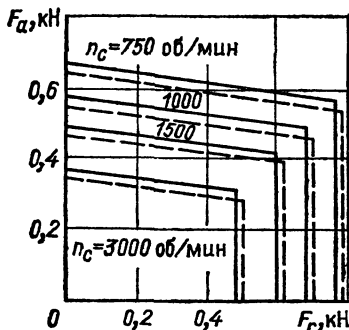


Рис. 47. То же, что на рис. 44, но $H=71$ мм

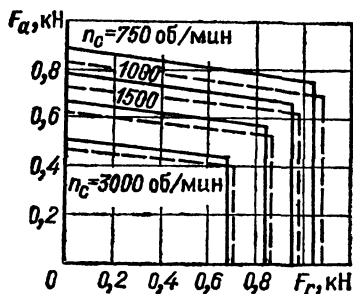


Рис. 48. То же, что на рис. 44, но $H=80$ мм

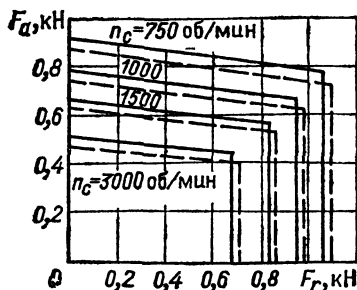


Рис. 49. То же, что на рис. 44, но $H=90$ мм

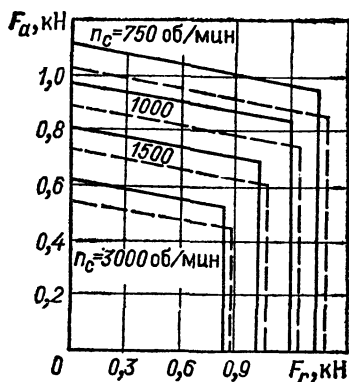


Рис. 50. То же, что на рис. 44, но $H=100$ мм

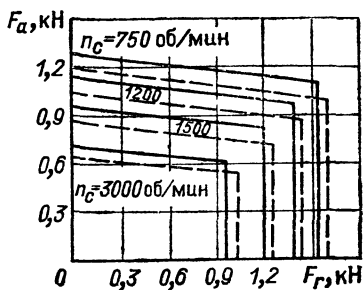


Рис. 51. То же, что на рис. 44, но $H=112$ мм

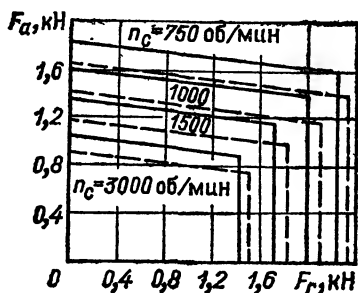


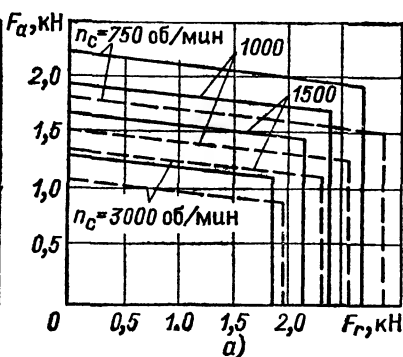
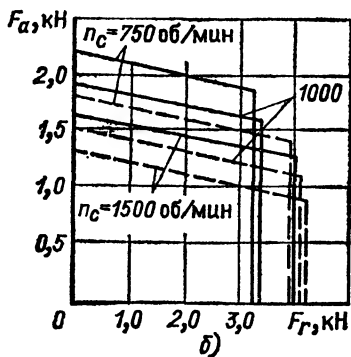
Рис. 52. То же, что на рис. 44, но $H=132$ мм

←

Рис. 53. То же, что на рис. 44, но $H=160$ мм:

а — со стороны привода расположен шарикоподшипник; б — со стороны привода — роликоподшипник

↓



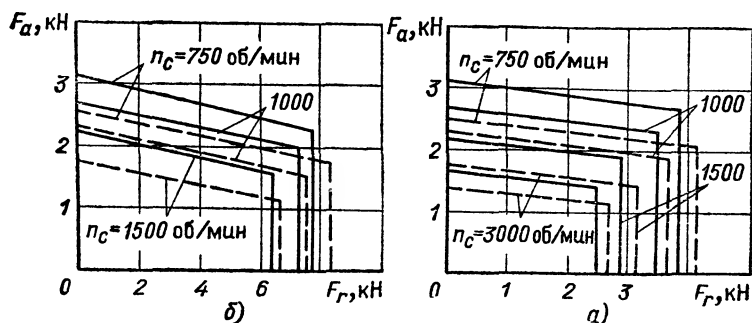


Рис. 54. То же, что на рис. 53, но $H=180$ мм

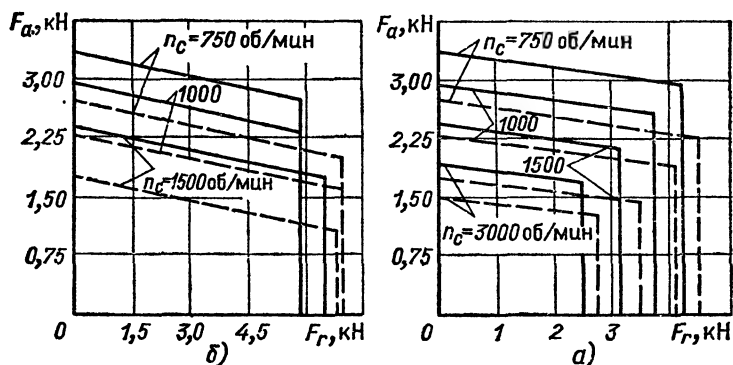


Рис. 55. То же, что на рис. 53, но $H=200$ мм.

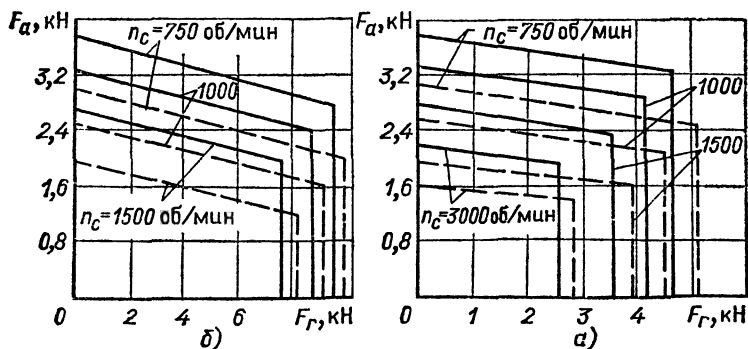


Рис. 56. То же, что на рис. 53, но $H=225$ мм

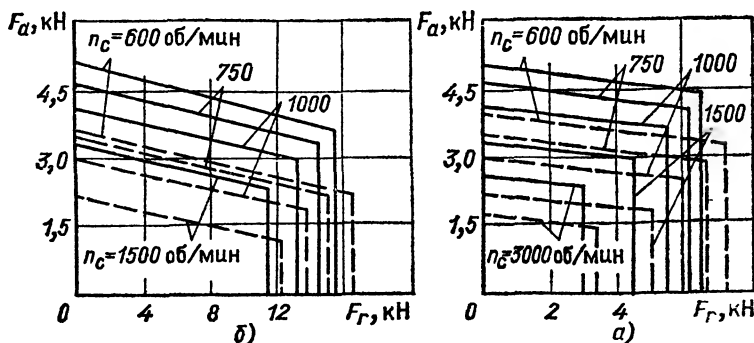
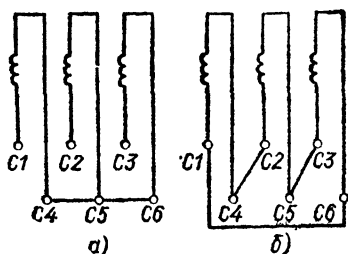


Рис. 57. То же, что на рис. 53, но $H=250$ мм

Рис. 58. Схемы включения односкоростного двигателя на два напряжения 220/380 или 380/660 В:

а — звезда (высшее напряжение); б — треугольник (низшее напряжение)



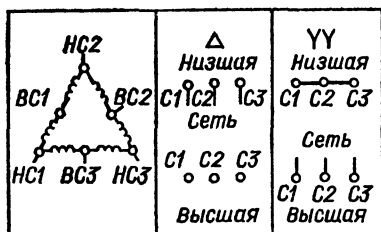
16. Схемы присоединения двигателей к сети

Односкоростные двигатели. Как было указано ранее, двигатели до 11 кВт включительно имеют три выводных конца в вводном устройстве и зажим заземления. Обмотки этих двигателей соединены в звезду или треугольник и предназначены для включения на одно из стандартных напряжений. Двигатели мощностью от 15 до 400 кВт имеют шесть выводных концов во вводном устройстве и зажим заземления. Эти двигатели могут включаться на два напряжения: 220/380 или 380/660 В.

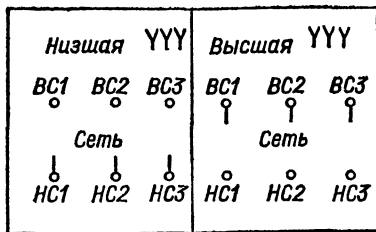
Схемы включения обмоток показаны на рис. 58.

Многоскоростные двигатели. Двухскоростные короткозамкнутые двигатели с соотношением частот вращения 1:2 имеют на статоре обмотку, выполненную по схеме Даландера. При низшей частоте вращения обмотка соединяется в треугольник, при высшей — в двойную звезду.

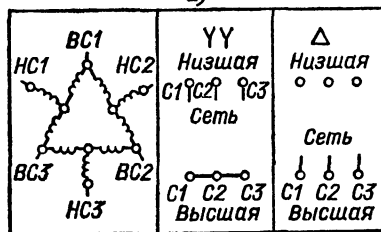
Схема соединения обмоток показана на рис. 10, а.



а)



б)



б)

Рис. 59. Схема присоединений двухскоростных двигателей с соотношением скоростей 2:3 и 3:4:

а — Δ/YY без дополнительной обмотки; б — Δ/YY с дополнительной обмоткой; в — YYY/YYY

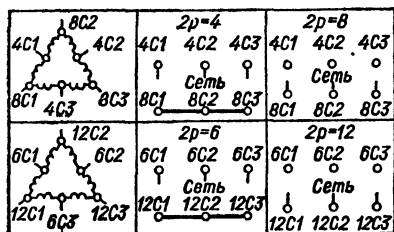


Рис. 60. Схема присоединений четырехскоростных двигателей

Обмотки двухскоростных двигателей с соотношением частот вращения 2:3 и 3:4 соединяются либо в тройную звезду (рис. 10, в; время соединений во вводном устройстве — рис. 59, в), либо в треугольник — двойную звезду без дополнительной обмотки (рис. 10, а; схема соединений во вводном устройстве — рис. 59, а) или с дополнительной обмоткой (рис. 10, б; схема соединений во вводном устройстве — рис. 59, б).

Четырехскоростные двигатели имеют две полюсопереключаемые независимые обмотки, выполненные по схеме Даландера, с 12 выводными концами. Схема соединений во вводном устройстве показана на рис. 60. При включении в сеть одной из обмоток вторая обмотка остается свободной.

Т а б л и ц а 23

Условия эксплуатации	Параметры, характеризующие механизм и условия эксплуатации	Параметры двигателя	Комментарии по выбору двигателя
Вид выполняемой работы	Нагрузочная диаграмма, режим работы, момент инерции механизма, механическая характеристика механизма	Номинальная мощность, механическая характеристика, частота вращения	Выбор типоразмера двигателя
Атмосферные воздействия	Температура окружающей среды, влажность, атмосферное давление, загазованность, запыленность	Номинальная мощность, степень защиты, покрытие, смазка	Уточнение номинальной мощности, выбор климатической модификации, степени защиты, смазки
Механические воздействия	Способ сочленения двигателя с механизмом, механические воздействия со стороны фундамента и со стороны механизма	Допустимые нагрузки на подшипники, допустимые нагрузки на вал, вибростойкость	Проверка механической прочности двигателя
Установка	Требуемая точность установки, исполнение механизма по способу монтажа	Точность выполнения установочных размеров, исполнение по способу монтажа	Выбор исполнения по способу монтажа и точности установочных размеров
Подключение к сети	Напряжение и частота сети	Напряжение и частота сети	Выбор двигателя по напряжению и частоте сети
Влияние на механизм и окружающую среду	Допустимые уровни шума и вибрации механизма, эстетические требования	Уровни шума и вибрации двигателя, эстетический уровень	Выбор двигателя по уровням шума и вибрации
Экономические показатели	Стоимость отказа, длительность наработки в год, коэффициент загрузки, стоимость электроэнергии, стоимость компенсации реактивной мощности	Надежность и долговечность, наличие встроенной защиты, КПД, коэффициент мощности	Сравнение вариантов по приведенным затратам

ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ

17. Сопоставление свойств двигателей и механизмов

Выбор двигателей состоит в сопоставлении свойств двигателя со свойствами приводимого механизма и с параметрами окружающей среды. Задачами выбора являются определение принципиальной возможности функционирования двигателя, обеспечение приемлемой долговечности двигателя и удовлетворительных свойств пары механизм — двигатель, нахождение наиболее экономичного варианта. В табл. 23 указаны условия эксплуатации, параметры двигателя и механизма, которые необходимо сопоставить при выборе двигателя.

18. Выбор двигателей по номинальной мощности

Для расчета мощности, кВт, и вращающего момента, Н·м, на валу двигателя следует пользоваться формулами:

вращательное движение

$$P = \frac{Mn}{9,55} 10^{-3};$$

$$M = \frac{9,55}{n} P \cdot 10^3;$$

подъем груза

$$P = \frac{kmgv}{\eta} 10^{-3};$$

привод вентилятора

$$P = \frac{Qp}{\eta} 10^{-3},$$

где k — коэффициент, учитывающий действие противовеса; v — скорость подъема груза, м/с; Q — расход воздуха, м³/с; p — давление на выходе вентилятора, Па; g — ускорение свободного падения, м/с²; η — КПД вентилятора, подъемника; m — масса, кг.

Полученные значения следует увеличить до ближайшего каталожного значения. Номинальные мощности двигателей серии 4А приведены в приложениях.

Двигатели эксплуатируются в самых разнообразных режимах. Стандартные режимы работы, описанные в

гл. 7, на практике в чистом виде встречаются редко. Проектировщик электропривода сам должен определить, какой из стандартных режимов наиболее близок к действительному режиму работы.

Учет режима работы имеет большое значение при подборе двигателя. Мощности двигателей, указанные в каталогах, приведены для режима S1 и нормальных условий работы, кроме двигателей с повышенным скольжением. Если двигатель работает в режиме S2 или S3, он нагревается меньше, чем в режиме S1, и поэтому он допускает большую мощность на валу. При работе в режиме S2 допустимая мощность может быть повышена на 50 % при длительности нагружения 10 мин, на 25 % — при длительности нагружения 30 мин, на 10 % — при длительности нагружения 90 мин. Для режима S3 рекомендуются двигатели с повышенным скольжением. Выбор мощности этих двигателей был описан ранее.

Пример. Выбрать двигатель для вентилятора, работающего в режиме S1 и имеющего следующие выходные параметры:

Расход воздуха Q , м ³ /с	5
Давление на выходе P , Па	1050
КПД	0,78
Частота вращения n , об/мин	1000

Необходимая мощность двигателя

$$P = \frac{QP}{1000\eta} = \frac{5 \cdot 1050}{1000 \cdot 0,78} = 6,73 \text{ кВт.}$$

Ближайший по мощности двигатель 4A132M6, $P=7,5$ кВт, $n=970$ об/мин.

Пример. Выбрать двигатель для кратковременного режима работы S2 при подъеме груза:

Масса груза m , кг	8000
Коэффициент, учитывающий противовес, k	0,5
Скорость подъема v , м/с	0,1
Высота подъема h , м	6,0
КПД подъемника	0,8
Частота вращения двигателя n , об/мин	1500
Время подъема $t=h/v=60/0,1$, с	600
Коэффициент увеличения мощности K_p	1,5 (см. табл. 25).

Мощность двигателя

$$P = \frac{mkgv \cdot 10^{-3}}{K_p \eta} = \frac{8000 \cdot 0,5 \cdot 9,8 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{1,5 \cdot 0,8} = 3,27 \text{ кВт.}$$

Ближайший по мощности двигатель 4A100L4 ($P=4,0$ кВт, $n=1430$ об/мин).

19. Выбор частоты вращения

Частота вращения асинхронного двигателя в номинальном режиме, об/мин, определяется по формуле

$$n_{\text{ном}} = \frac{60f}{p} (1 - s_{\text{ном}}),$$

где f — частота сети, Гц; p — число пар полюсов; $s_{\text{ном}}$ — номинальное скольжение.

Номинальное скольжение электродвигателей с повышенным скольжением составляет 5—14 %, номинальное скольжение остальных двигателей составляет 1—10 % в зависимости от мощности. Большие скольжения соответствуют меньшим мощностям. Номинальные скольжения указываются в каталогах и справочниках.

20. Выбор электрической модификации

Электрическими модификациями называются разновидности двигателей, различающиеся рабочими свойствами. В серии 4А предусмотрены следующие модификации: двигатели с повышенным пусковым моментом, с повышенным скольжением, с фазным ротором, со встроенным электромагнитным тормозом, многоскоростные.

Области применения указанных двигателей описаны выше. В табл. 24 приведены случаи применения модификаций.

21. Выбор по условиям окружающей среды

Выбор производится по правилам, изложенным в разделе «Модификации по условиям окружающей среды», в соответствии с условиями работы, приведенными в табл. 23.

Выбор степени защиты. Степень защиты предварительно определяется при выборе модификации по условиям окружающей среды. Например, химостойкая модификация Х2 и морская модификация ОМ2 предусматривают только степень защиты IP54.

При выборе степени защиты для остальных модификаций следует руководствоваться данными табл. 9 и 10. В них перечислены факторы, против воздействия которых достаточна та или иная защита. Следует иметь в виду, что чем ниже степень защиты, тем дешевле двига-

Таблица 24

Наименование механизмов	Кратность момента по отношению к статическому моменту механизма		Характер- ные режимы работы	Характер- ная частота вклю- чения, ч ⁻¹
	пускового	максимального		
Насосы: центробежные, осевые вакуум-насосы поршневые	0,3 0,3 1—1,5	1,5 1,4 2,0	S1—S3	1—30
Вентиляторы: центробежные, осевые дымососы	0,3 0,5	1,1—1,3 1,75	S1	1—6
Шнеки	1—1,5; 2—3	2—2,5; 2,5—3	S1	1—6
Манипуляторы, толка- тели, кантователи	2,5—3	2,5—3	S1—S5	1—6
Задвижки	3—3,5	3—3,5	S1—S3	6—30
Центрифуги, сепара- торы	2,25	2,25	S1	1—6
Машины барабанного типа	1,25	2,5	S1—S4	1—6
Компрессоры: лопаточные объемные	0,3 2—2,5	1,5 2—2,5	S1	1—6
Подъемники	1,4	1,4	S2, S3, S6	30—200
Дробилки	1—1,5	2,5	S1, S2	1—6
Буровые станки	1—1,5	2,5	S1	1—6
Пилы	1,0	1,5	S1, S3	6—120
Вибраторы	2—2,5	2—2,5	S1—S3	1—30

Продолжение табл. 24

Наименование механизмов	Кратность момента по отношению к статическому моменту механизма		Характер- ные режимы работы	Характер- ная частота включения, ч ⁻¹
	пускового	максимального		
Кузнечно-прессовые машины (прессы, мо- лоты)	2,75—3	2,75—3	S3—S6	1—6
Преобразователи энер- гии	0,5	1,5	S1	1—6
Зачистные, шлифо- вальные, щеточно-мо- счные машины	0,5	1,5	S1, S2	1—6
Металлорежущие станки (главный при- вод)	1,2; 2,0	1,5; 2,5	S1, S3 S6	1—6
Прядильные машины	2,2—2,5	2,5—2,7	S1	1—30
Ткацкие станки	2,2—2,5	2,5—2,7	S1	1—100
Питатели, дозаторы	3—3,5	3—3,5	S1—S3	1—30
Укладчики, штабеле- ры	1,5	2,5	S1—S4	1—100

Продолжение табл. 24

Наименование механизмов	Средняя продолжи- тельность работы в год, ч	Мощ- ность, кВт	Частота враще- ния, об/мин	Кoeffи- циент загрузки по мощ- ности	Рекомен- дуемая модифи- кация
Насосы:	1000— 4000	0,1—360	3000, 1500	0,5—0,9	
центробежные, осевые					A
вакуум-насосы					A
поршневые					P, C

Наименование механизмов	Средняя продолжительность работы в год, ч	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Коэффициент загрузки по мощности	Рекомендуемая модификация
Вентиляторы: центробежные, осевые дымососы	3000	0,1—100	3000, 1500, 1000, 750, МС	0,7—0,9	А
Шнеки	1000— 1500	0,1—300	1500, 1000	0,7—0,8	А, Р
Манипуляторы, толкатели, кантователи	500— 1500	0,1—30	1500, 1000, МС	0,4—0,8	А, С
Задвижки	500— 1000	0,1—10	1500, 1000, МС	0,7—0,8	А, С
Центрифуги, сепараторы	500— 1000	0,1—300	1500, 1000	0,8—0,9	Р
Машины барабанного типа	3000	0,1—100	1500, 1000	0,7—0,9	А, С
Компрессоры: лопаточные объемные	1500— 3000	0,1—300	3000, 1500	0,7—0,9	А, С
Подъемники	500—1500	0,1—50	1500, 1000, 750, МС	0,7—0,8	А, С
Дробилки	1500	1—100	1500, 1000, 750	0,4—0,9	А, Р
Буровые станки	3500	0,1—30	1500, 1000, 750	0,4—0,8	А, С
Пилы	3000	1—20	3000, 1500, 1000, МС	0,7—0,9	А

Наименование механизмов	Средняя продолжительность работы в год, ч	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Коэффициент загрузки по мощности	Рекомендуемая модификация
Вибраторы	3000	0,1—50	3000, 1500, 1000	0,3—0,9	Р
Кузнечно-прессовые машины (прессы, молоты)	500—3300	0,1—100	1500, 1000	0,25—0,9	С
Преобразователи энергии	3000—8000	2—100	3000, 1500	0,8	А, В
Зачистные, шлифовальные, щеточно-моющие машины	1500—5000	0,1—100	3000, 1500, 1000	0,7—0,9	А, В
Металлорежущие станки (главный привод)	1500	0,1—50	3000, 1500, 1000, МС	0,3—0,7	А, В, С
Прядильные машины	3000—5000	0,1—30	3000, 1500	0,6—0,9	Р
Ткацкие станки	3000—5000	0,2—30	1500, 1000	0,6—0,9	Р
Питатели, дозаторы	3000—8000	0,1—50	1500, 1000	0,7—0,9	С, Р
Укладчики, штабелеры	500—8000	0,1—5	1500, 1000, 750	0,7—0,9	А, С

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения двигателей: А — базового ряда, В — встроенные, Р — с повышенным пусковым моментом, С — с повышенным скольжением, МС — многоскоростные.

тель. Двигатель со степенью защиты IP23 имеет большую мощность в тех же габаритах по сравнению со степенями защиты IP44 и IP54, но худший КПД.

22. Выбор по точности установочных и присоединительных размеров

Выбор производится в соответствии с требованиями, предъявляемыми разработчиком механизма в отноше-

нии предельных отклонений установочных и присоединительных размеров.

23. Выбор исполнения по способу монтажа

Выбор исполнения по способу монтажа производится разработчиком механизма в зависимости от компоновки, способа сопряжения двигателя с механизмом и других факторов.

В случае необходимости обеспечить определенное взаимное расположение двигателя и механизма (осевые насосы с насаженным на вал двигателя колесом насоса, редукторы и др.) рекомендуется применять исполнение IM2 или IM3. При исполнении IM2 несущим является двигатель, а механизм присоединяется к двигателю. При исполнении IM3 двигатель присоединяется фланцевым щитом к механизму и несущим уже является механизм. При исполнении IM2 крепление двигателя и приводимого механизма к фундаменту осуществляется с помощью лап двигателя. Как при исполнении IM2, так и при исполнении IM3 сказанное справедливо, если масса навешиваемого изделия не превышает допустимой нагрузки на фланец двигателя. Допустимое значение массы навешиваемого изделия и координаты его центра масс необходимо согласовать с разработчиком (изготовителем) двигателя. Если нагрузка на фланец двигателя превышает допустимое значение, необходимо предусмотреть дополнительную опору.

При сопряжении двигателя с механизмом с помощью ременной передачи должно применяться монтажное исполнение IM1. Двигатели монтажного исполнения IM2 и IM3 могут применяться при сопряжении с механизмом муфтой и зубчатой цилиндрической передачей. Следует иметь в виду, что радиальные и осевые нагрузки на подшипник и соответственно долговечность подшипника зависят от угла наклона вала двигателя к горизонтальной плоскости.

Для встраиваемых двигателей должен быть обеспечен достаточный расход охлаждающего агента в соответствии с рекомендациями, приведенными в § 4.

24. Расчет допустимой частоты пусков

Во время пуска двигатель должен разогнать не только массу ротора, но также массы приводимого механизма и соединительного звена. Приводимые массы могут

находиться во вращательном или поступательном движении. Их скорость может изменяться.

Знание момента инерции нагрузки необходимо для расчетов длительности разгона двигателя и допустимой частоты пусков.

При вращательном движении приведенный момент инерции механизма и соединительного звена рассчитывается по формуле

$$J'_M = J_M (n_M/n_{дв})^2,$$

где J_M — момент инерции механизма и соединительного звена, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; n_M , $n_{дв}$ — частоты вращения механизма и двигателя, об/мин.

При поступательном движении приводимых масс момент инерции рассчитывается по формуле

$$J'_M = 91 m_M (v_M^2 / n_{дв}^2),$$

где m_M — приводимая масса, кг ; v_M — скорость движения приводимой массы, м/с .

В расчетах обычно используется коэффициент инерции F_i , который представляет собой отношение суммы момента инерции ротора двигателя, приведенного момента инерции механизма и соединительного звена к моменту инерции ротора двигателя:

$$F_i = (J_{дв} + J'_M) / J_{дв}.$$

В общем случае двигатель несет статическую нагрузку (полезную нагрузку на валу) и динамическую нагрузку, связанную с разгоном маховых масс механизма. При этом длительность пуска определяется по формуле

$$t_{п} = t_{по} (F_i / k_M),$$

где $t_{по}$ — длительность разгона двигателя без статической и динамической нагрузок; k_M — коэффициент, зависящий от вида механической характеристики механизма.

Значения $t_{по}$ для двигателей серии 4А (4АН) базового ряда, а также модификаций с повышенным пусковым моментом и повышенным скольжением приведены в табл. 25.

Допустимая частота пусков находится из решения уравнения

$$h = \frac{h_0 k_M}{F_i} \frac{(1 - \text{ПВ}) \beta_j - \text{ПВ} \left(\frac{1}{k_p} - 1 \right)}{1 - e^{-b/(F_i h)^{1/2}}},$$

Таблица 25

Высота оси вращения, мм	Длительность пуска на холостом ходу, с											
	2p=2				2p=4				2p=6			
	4A	4AH	4AC		4A	4AH	4AP	4AC	4A	4AH	4AP	4AC
50	0,1	—	—	—	0,10	—	—	—	—	—	—	—
56	0,09	—	—	—	0,08	—	—	—	—	—	—	—
63	0,07	—	—	—	0,07	—	—	—	—	—	—	—
71	0,06	—	0,07	—	0,04	—	—	0,04	0,05	—	—	0,03
80	0,07	—	0,07	—	0,04	—	—	0,04	0,03	—	—	0,04
90	0,08	—	0,07	—	0,04	—	—	0,04	0,03	—	—	0,04
100	0,09	—	0,03	—	0,04	—	—	0,04	0,04	—	—	0,04
112	0,09	—	0,08	—	0,04	—	—	0,05	0,04	—	—	0,04
132	0,10	—	0,12	—	0,07	—	—	0,05	0,06	—	—	0,04
160	0,22	0,15	—	—	0,13	0,10	0,10	0,09	0,11	—	0,08	0,07
180	0,25	0,16	—	—	0,15	0,11	0,12	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07
200	0,30	0,22	—	—	0,19	0,14	0,14	0,18	0,13	0,12	0,11	0,09
225	0,30	0,25	—	—	0,22	0,15	0,16	0,2	0,15	0,14	0,12	0,13
250	0,55	0,31	—	—	0,30	0,20	0,19	0,32	0,2	0,17	0,16	0,14
280	0,80	0,40	—	—	0,45	0,28	—	—	0,28	0,25	—	—
315	0,90	0,58	—	—	0,49	0,35	—	—	0,36	0,30	—	—
355	1,00	0,65	—	—	0,55	0,42	—	—	0,44	0,35	—	—

Высота оси вращения, мм	Допустимая частота пусков на колостом ходу $n_{\text{н.ч}}-1$											
	$2p \approx 2$			$2p \approx 4$			$2p \approx 6$			$2p \approx 8$		
	4A (АН)	4AC		4A (АН)	4AP	4AC	4A (АН)	4AP	4AC	4A (АН)	4AP	4AC
50	4000	—	10 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
56	4000	—	8500	—	—	—	—	—	—	—	—	—
63	3900	—	8500	—	—	—	10 500	—	—	—	—	—
71	3800	5800	8500	—	—	8300	10 000	—	14 000	15 000	—	16 200
80	3600	5600	7800	—	—	7800	8600	—	10 000	14 000	—	15 000
90	3200	4100	7500	—	—	7800	8200	—	9300	10 000	—	10 500
100	2600	3400	6500	—	—	7800	6900	—	7800	9000	—	10 000
112	2400	3200	5000	—	—	7300	6500	—	7500	8500	—	8800
132	1600	3000	4000	—	—	6500	4300	—	7100	6000	—	8200
160	940	—	1700	2000	—	3000	2100	2600	4500	2100	2600	6500
180	830	—	1100	1400	—	2000	2000	2500	4300	2000	2500	6000
200	700	—	950	1100	—	1700	1200	1300	3000	1600	2300	4600
225	590	—	750	1000	—	1600	1100	1200	2900	1500	1900	4200
250	330	—	600	800	—	1200	780	900	1500	1100	1400	2400
280	180	—	450	—	—	—	680	—	—	800	—	—
315	150	—	330	—	—	—	470	—	—	730	—	—
355	130	—	260	—	—	—	340	—	—	450	—	—

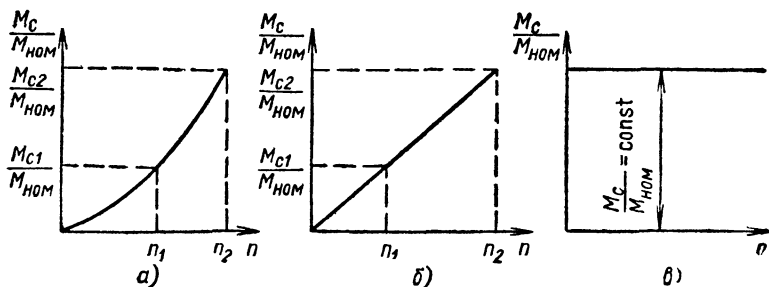


Рис. 61. Механические характеристики механизмов

где h_0 — допустимая частота пусков без статической и динамической нагрузок (табл. 26); k_p — отношение потерь двигателя при номинальной нагрузке к потерям двигателя при нагрузке P_2 ; ПВ — продолжительность включения двигателя при повторно-кратковременном режиме, %; β_0 — коэффициент, характеризующий ухудшение охлаждения двигателя при стоянке во время паузы (табл. 27); $b=30$ — для двигателей с высотой оси вращения $H=71 \div 132$ мм; $b=20$ — для двигателей с $H=160 \div 250$ мм.

Возможные механические характеристики механизмов представлены на рис. 61. Характеристика на рис. 61, а характерна для вентиляторов, осевых и центробежных насосов. Характеристикой на рис. 61, б обладают силы и моменты трения. Характеристику, представленную на рис. 61, в, имеют грузоподъемные механизмы, поршневые насосы и компрессоры при работе на постоянное давление, конвейеры, транспортеры, металлорежущие и деревообрабатывающие станки.

Таблица 27

Высота оси вращения, мм	Коэффициент β_0			
	$2p = 2$	$2p = 4$	$2p = 6$	$2p = 8$
71	0,65	0,7	0,6	0,6
80	0,55	0,6	0,55	0,6
90	0,45	0,5	0,5	0,5
100	0,40	0,45	0,5	0,5
112	0,35	0,4	0,5	0,5
132	0,35	0,35	0,4	0,4
160, 180	0,3	0,35	0,35	0,35
200—250	0,3	0,3	0,3	0,3

Таблица 28

Тип двигателя	Диапазон высот оси вращения, мм	Значения k_M при					k	ν
		$\frac{M_C}{M_{НОМ}} \sim \frac{n^2}{2}$	$\frac{M_C}{M_{НОМ}} \sim \frac{n}{2}$	$\frac{M_C}{M_{НОМ}} \sim 1$	$\frac{M_C}{M_{НОМ}} \sim 0,9$	$\frac{M_C}{M_{НОМ}} \sim 0,8$		
4А (4АН)	50—132	0,9	0,8	0,40	—	—	0,04	0,9
	160—250	0,85	0,7	0,20	—	—		
	280			—	0,15	—		
	315—355	0,8	0,65	—	—	0,15		
4АР	160—250	0,85	0,75	0,35	—	—	0,06	1,0
4АС	71—250	0,9	0,8	0,5	—	—	0,05	1,1

Значения коэффициента k_M для двигателей серии 4А при различных видах механической характеристики механизмов приведены в табл. 28.

Допустимая частота реверсов при работе двигателя в режиме S8 в 4 раза меньше допустимого числа пусков.

Расчет предельно допустимого момента инерции приводимого механизма. Предельный момент инерции, кг·м², на валу двигателя при наличии статической нагрузки на валу определяется из условия нагрева обмотки статора до предельно допустимой температуры по формуле

$$J_{max} = k k_M P_2^{\nu} p^{2,5}.$$

Значения коэффициентов k и k_M и показателя степени ν для двигателей серии 4А приведены в табл. 28.

Допускается один пуск с предельным моментом инерции для двигателя, предварительно нагретого до рабочей температуры в одном из номинальных режи-

мов. Двигатель, находящийся в холодном состоянии, допускает два последовательных пуска с предельным моментом инерции на валу.

25. Выбор защиты

Устройства защиты должны защищать обмотку двигателя от разрушающего действия процессов, возникающих при обрыве фазы, перегрузке по току, стоянке под напряжением, нарушении условий охлаждения.

Одновременно устройства защиты должны защищать сеть и пускорегулирующие устройства от коротких замыканий в двигателе.

По принципу действия различают токовую и температурную защиты. Токовая защита реализуется с помощью предохранителей с плавкими вставками, автоматических выключателей, тепловых реле. Температурная защита осуществляется с помощью устройств встроенной температурной защиты.

Правильный выбор защиты очень важен для обеспечения долговечности двигателя. Эффективность защиты зависит от условий применения. Ниже приводятся общие правила выбора защиты в типичных ситуациях.

Все электродвигатели должны иметь защиты от коротких замыканий и стоянки под напряжением. Для этих целей должны применяться предохранители с плавкими вставками и автоматические выключатели.

Все электродвигатели, работающие в режиме S1, должны иметь защиту от перегрузки по току.

Электродвигатели, обмотки которых при пуске переключаются с треугольника на звезду, рекомендуется защищать трехполюсными тепловыми реле с ускоренным срабатыванием в неполнофазных режимах. Для двигателей, работающих в повторно-кратковременных режимах, рекомендуется встроенная температурная защита. Двигатели, работающие в кратковременном режиме S2 с возможным затормаживанием ротора без технологического ущерба, должны иметь защиту тепловыми реле. Если затормаживание ротора влечет за собой технологический ущерб, следует применять температурную защиту.

Выбор защиты в специальных случаях, например при затяжных пусках, требует специального рассмотрения.

Таблица 29

Причины опасного превышения температуры обмотки двигателя	Токовая защита		Температурная защита
	Плавкие предохранители	Тепловые реле	
Перегрузка током $I = 1,2 I_{\text{ном}}$	НЭ	Э	Э
Номинальный режим, температура превышает допустимую	НЭ	УЭ	Э
Режимы с пусками, торможениями, реверсами	НЭ	УЭ	Э
Режимы при частоте пусков 15 ч^{-1} и выше	НЭ	УЭ	Э
Заклинивание ротора	УЭ	УЭ	Э
Обрыв фазы питающей сети	НЭ	УЭ	Э
Отклонение напряжения в сети	НЭ	Э	Э
Отклонение частоты сети	НЭ	Э	Э
Повышение температуры окружающей среды	НЭ	Э	Э
Неудовлетворительная работа системы охлаждения (закупорка вентиляционных отверстий, покрытие корпуса двигателя теплоизолирующими веществами)	НЭ	НЭ	Э

Примечание. В таблице приняты обозначения: НЭ — защита неэффективна, УЭ — защита условно эффективна, Э — защита работает эффективно.

В табл. 29 показана эффективность различных типов защиты для наиболее распространенных ситуаций.

При окончательном выборе типа защиты следует принимать во внимание следующие технико-экономические факторы: вероятность возникновения аварийного режима; ущерб, приносимый выходом из строя двигателя в результате аварийного режима; стоимость защиты.

Плавкие предохранители предназначены для защиты электродвигателей от стоянки под током и больших перегрузок. Номинальный режим работы предохранителей по ГОСТ 17242-79 продолжительный.

Предохранители выбирают по току плавкой вставки из условия

$$I_{\text{пред}} = I_{\text{ном}} K_I / \alpha,$$

где K_I — кратность пускового тока двигателя; $\alpha = 3,0$ — при редких пусках с ПВ до 2,5 с; $\alpha = 2,5$ — при несчастных пусках с ПВ = 2,5 ÷ 10 с; $\alpha = 1,6 \div 2,0$ — при частых пусках с ПВ более 10 с.

Во всех случаях номинальный ток плавкой вставки не должен превышать номинальный расчетный ток сети.

Тепловые реле предназначены в основном для защиты двигателей в режиме S1. Допустимо применение их для режима S2, если исключено увеличение длительности периода нагружения. Для режима S3 применение тепловых реле допускается в исключительных случаях при коэффициенте загрузки двигателя не более 0,7.

Для защиты обмоток, соединенных в звезду, могут применяться однополюсные реле (два реле), двухполюсные и трехполюсные реле. Защита обмоток, соединенных в треугольник, должна осуществляться трехполюсными реле с ускоренным срабатыванием в неполнофазных режимах.

Многоскоростные двигатели должны иметь отдельные реле на каждой ступени скорости при необходимости полного использования мощности на каждой ступени или одно реле с уставкой, выбранной по току ступени наибольшей скорости для двигателей с вентиляторной нагрузкой.

Номинальный ток тепловых элементов выбирается по номинальному току двигателя так, чтобы номинальный ток двигателя находился между минимальной и максимальной уставками реле по току. Рекомендации по настройке тепловых токовых реле приводятся в инструкциях по установке и эксплуатации реле.

Встроенная температурная защита состоит из трех последовательно соединенных датчиков температуры — позисторов, размещаемых в каждой фазе обмотки двигателя, и исполнительного устройства. Тип позистора определяется классом нагревостойкости изоляции обмотки. Как правило, позисторы устанавливаются при изготовлении двигателя.

26. Проверка уровня шума

Звуковая мощность механизма с установленным двигателем равна сумме звуковых мощностей двигателя и механизма. Общий уровень шума механизма и двигателя зависит от разности их уровней шума и может быть определен с помощью номограммы, приведенной на рис. 62.

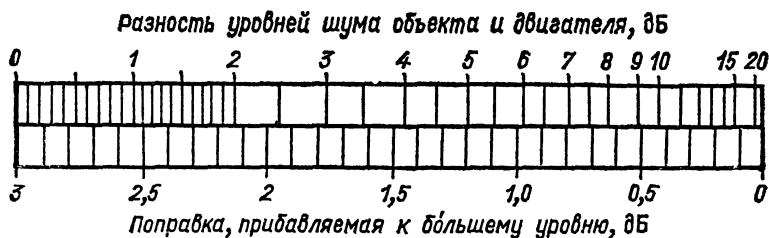


Рис. 62. Определение общего уровня шума двух источников

Пример 1. Уровень шума механизма без двигателя 74 дБ (по шкале А). Уровень шума двигателя 75 дБ. Разность уровней 1 дБ. По номограмме определяем, что общий уровень шума механизма и двигателя приблизительно на 2,5 дБ больше, чем уровень шума двигателя, т. е. равен $75 + 2,5 = 77,5$ дБ.

Если имеется несколько двигателей, то общий уровень шума определяется последовательным применением приведенного правила.

Пример 2. Если на описанный в предыдущем примере механизм установлен еще один двигатель с уровнем шума 72 дБ, то разность уровней шума второго двигателя и общего уровня шума механизма с первым двигателем составит $77,5 - 72 = 5,5$ дБ.

Общий уровень шума после установки второго двигателя возрастет на 1,1 дБ, и составит $77,5 + 1,1 = 78,6$ дБ.

Следует отметить, что малозумные двигатели более дорогие и их применение оправдано только тогда, когда требования заказчика по уровню шума нельзя удовлетворить применением базовых двигателей.

27. Определение допустимых нагрузок на подшипник

Нагрузки, действующие на подшипник, можно определить по графикам, приведенным в § 15.

Пример 1. Определить допустимую радиальную нагрузку, приложенную к середине выступающего конца вала двигателя 4A160M4 при горизонтальной установке. Желаемая долговечность подшипника 20 000 ч. По кривой рис. 33, а для частоты вращения 1500 об/мин находим допустимую радиальную нагрузку $F_r = 2,125$ кН. Если фактическая радиальная нагрузка больше, то следует выбрать двигатель с роликоподшипником со стороны привода. Допустимая нагрузка для этого случая равна по рис. 34, а 4 кН.

Пример 2. К середине свободного конца вала двигателя 4A160M4, имеющего роликоподшипник со стороны привода, установленного горизонтально, приложена радиальная сила $F_r = 4$ кН. Определить

допустимую аксиальную нагрузку. По кривой рис. 53, б находим допустимую аксиальную нагрузку $F_a = 1,3$ кН.

Пример 3. Определить допустимую радиальную нагрузку на свободный конец вала двигателя 4A160M4, имеющего роликоподшипник со стороны привода, установленного горизонтально. Требуемая долговечность 20 000 ч. Радиальная сила приложена на расстоянии $x = l$. Из примера 1 следует, что при приложении нагрузки к середине свободного конца вала допустимая нагрузка $F_r = 2,125$ кН. Для $x = l$ находим по кривой 3 рис. 43:

$$F_r/F_{rx} = 1,108; \quad F_{rx} = F_r/1,108 = 2,125/1,108 = 1,9 \text{ кН.}$$

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Увязка номинальных мощностей с установочными размерами асинхронных двигателей базового ряда серии 4А

Таблица П.1

Высота оси вращения, мм	Условная длина статорной или сердечника статора	Номинальная мощность, кВт, при степени защиты IP44 и числе полюсов					
		2p = 2	2p = 4	2p = 6	2p = 8	2p = 10	2p = 12
50	A	0,09	0,06	—	—	—	—
	B	0,12	0,09	—	—	—	—
56	A	0,18	0,12	—	—	—	—
	B	0,25	0,18	—	—	—	—
63	A	0,37	0,25	0,18	—	—	—
	B	0,55	0,37	0,25	—	—	—
71	A	0,75	0,55	0,37	—	—	—
	B	1,1	0,75	0,55	0,25	—	—
80	A	1,5	1,1	0,75	0,37	—	—
	B	2,2	1,5	1,1	0,55	—	—
90	L	3	2,2	1,5	0,75; 1,1	—	—
100	S	4	3	—	—	—	—
	L	5,5	4	2,2	1,5	—	—
112	M	7,5	5,5	3; 4	2,2; 3	—	—
132	S	—	7,5	5,5	4	—	—
	M	11	11	7,5	5,5	—	—
160	S	15	15	11	7,5	—	—
	M	18,5	18,5	15	11	—	—
180	S	22	22	—	—	—	—
	M	30	30	18,5	15,5	—	—
200	M	37	37	22	18,5	—	—
	L	45	45	30	22	—	—
225	M	55	55	37	30	—	—
250	S	75	75	45	37	30	—
	M	90	90	55	45	37	—
280	S	110	110	75	55	37	—
	M	132	132	90	75	45	—
315	S	160	160	110	90	55	45
	M	200	200	132	110	75	55
355	S	250	250	160	132	90	75
	M	315	315	200	160	110	90

Таблица П.2

Высота оси вращения, мм	Условная длина станины	Номинальная мощность, кВт, при степени защиты IP23 и числе полюсов					
		2p = 2	2p = 4	2p = 6	2p = 8	2p = 10	2p = 12
160	S	22	18,5	—	—	—	—
	M	30	22	—	—	—	—
180	S	37	30	18,5	15	—	—
	M	45	37	22	18,5	—	—
200	S	55	45	30	22	—	—
	M	75	55	37	30	—	—
225	M	90	75	45	37	—	—
250	S	110	90	55	45	—	—
	M	132	110	75	55	—	—
280	S	160	132	90	75	45	—
	M	200	160	110	90	55	—
315	S	250	200	132	110	75	55
	M	—	250	160	132	90	75
355	S	315	315	200	160	110	90
	M	400	400	250	200	132	110

Приложение 2. Номинальные мощности электрических модификаций асинхронных двигателей серии 4А

Таблица П.3

Высота оси вращения, мм	Условная длина станины или сердечника статора	Номинальная мощность, кВт, двигателей с повышенным скольжением при числе полюсов			
		2p = 2	2p = 4	2p = 6	2p = 8
71	A	1	0,6	0,4	—
	B	1,2	0,8	0,63	0,3
80	A	1,9	1,3	0,8	0,45
	B	2,5	1,7	1,2	0,6
90	L	3,5	2,4	1,7	1,2
100	S	4,8	3,2	—	—
	L	6,3	4,25	2,6	1,6
112	MA	8	5,6	3,2	2,2
	MB	—	—	4,2	3,2
132	S	—	8,5	6,3	4,5
	M	11	11,8	8,5	6

Таблица П.4

Высота оси вращения, мм	Условная длина станины или сердечника статора	Номинальная мощность, кВт, при числе полюсов 2 p и модификациях			
		2 p = 4			
		1	2	3	4
160	S M	15 18,5	17 20	10 13	15 18,5
180	S M	22 30	21 26,5	— 18,5	22 30
200	M L	37 45	31,5 40	22 30	37 45
225	M SA	55 75	50 56	37 45	55 75
250	SB M	— 90	— 63	55 71	90 110

Продолжение табл. П.4

Высота оси вращения, мм	Условная длина станины или сердечника статора	Номинальная мощность, кВт, при числе полюсов 2 p и модификациях			
		2 p = 6			
		1	2	3	4
160	S M	11 15	12 16	7,1 10	— —
180	S M	— 18,5	— 19	— 13	15 18,5
200	M L	22 30	22 28	18,5 22	22 30
225	M	37	33,5	30	37
250	SA SB M	45 — 55	40 — 45	37 — 45	45 55 75

Высота оси вращения, мм	Условная длина станины или сердечника статора	Номинальная мощность, кВт, при числе полюсов $2p$ и модификациях			
		$2p = 8$			
		1	2	3	4
160	S	7,5	9	5,5	—
	M	11	12,5	7,1	—
180	S	—	—	—	11
	M	15	15	11	15
200	M	18,5	—	15	18,5
	L	22	20	18,5	22
225	M	30	26,5	22	30
250	SA	37	36	30	37
	SB	—	—	—	45
	M	45	—	37	55

Примечание. В таблице приведены обозначения модификаций двигателей: 1 — с повышенным моментом, 2 — с повышенным скольжением, 3 — с фазным ротором и степенью защиты IP44; с фазным ротором и степенью защиты IP23.

Таблица П.5

Высота оси вращения, мм	Условная длина станины	Номинальная мощность, кВт, двигателей с фазным ротором при числе полюсов				
		$2p = 4$	$2p = 6$	$2p = 8$	$2p = 10$	$2p = 12$
280	S	132	90	75	45	—
	M	160	110	90	55	—
315	S	200	132	110	75	55
	M	250	160	132	90	75
355	S	315	200	160	110	90
	M	400	250	200	132	110

Приложение 3. Номинальные мощности многоскоростных двигателей серии 4 А

Таблица П.6

Высота оси вращения, мм	Условная длина станины или сердечника	Номинальная мощность, кВт, при соотношении чисел полюсов				
		4/2	8/4	6/4	8/6	12/6
56	A	0,1/0,14	—	—	—	—
	B	0,12/0,18	—	—	—	—
63	A	0,19/0,27	—	—	—	—
	B	0,22/0,37	—	—	—	—
71	A	0,45/0,75	—	—	—	—
	B	0,63/0,95	—	—	—	—
80	A	1,1/1,5	—	—	—	—
90	A	1,5/2,0	—	—	—	—
	B	2,0/2,5	0,63/1	1,3/1,4	—	—
100	S	2,7/3,4	1/1,7	1,8/2,1	0,7/0,9	—
	L	3,2/4,2	1,4/2,4	2,5/2,8	1/1,3	—
	MA	—	1,9/3,0	—	1,1/1,3	—
112	M	4,2/5	—	2,8/3,20	—	—
	MB	—	2,2/3,6	—	1,4/1,7	—
132	S	6/6,7	3,2/5,3	4/4,5	2,4/2,6	—
	M	8,5/9,5	4,2/7,1	6/6,2	2,8/3,2	—
160	S	11/14	6/9	7,1/8,5	7,5/8,5	2,8,6,7
	M	14/17	9/13	11/13	10/11	4/9
180	S	18/21	—	—	—	—
	M	22/26,5	13/18	13/17	13/15	6,7/11
200	M	—	17/25	17/23	15/18	9/14
	L	33,5/37	20/28	—	15/18,8	10/17
225	M	42,5/45	22,4/33,5	—	18,5/22,4	12,5/22
250	S	50/60	30/45	—	26/30	16/28
	M	60/71	37/55	—	28/37	18,5/35,5

Продолжение табл. П.6

Высота оси вращения, мм	Условная длина станины или сердечника	Номинальная мощность, кВт, при соотношении чисел полюсов			
		6/4/2	8/4/2	8/4/6	12/8/6/4
56	A	—	—	—	—
	B	—	—	—	—
63	A	—	—	—	—
	B	—	—	—	—

Продолжение табл. П.6

Высота оси вращения, мм	Условная длина станины или сер-дечника	Номинальная мощность, кВт, при соотношении чисел полюсов			
		6/4/2	8/4/2	8/4/6	12/8/6/4
71	A	—	—	—	—
	B	—	—	—	—
80	A	—	—	—	—
90	A	—	—	—	—
	B	—	—	—	—
100	S	1/1,1/1,5	0,63/1,1/1,5	0,71/0,9/1,3	0,5/0,63/0,9/1,1
	L	1,4/1,5/2,1	0,9/1,5/2,1	0,9/1,2/1,7	0,71/0,85/1,0/1,4
	MA	—	—	1/1,1/1,5	—
112	M	1,6/2,20/2,8	1,1/1,9/2,2	—	—
	MB	—	—	1,2/1,4/2,1	—
132	S	2,8/3,6/4,2	1,8/3,0/3,6	1,9/2,2/3,2	—
	M	3,8/5/6	2,4/4,5/5,0	2,6/2,8/4,5	—
160	S	4,8/5,3/7,5	3,8/4,3/6,3	4/4,5/7,5	—
	M	6,7/7,5/10,5	5/7,1/9,5	5/6,3/10	1,8/4/4,3/6,7
180	S	—	—	—	—
	M	—	—	8/10/12,5	3/5/6/8
200	M	—	—	11/12/18,5	5/8/8,5/12
	L	—	—	14/15/21	6/10/10,5/15
225	M	—	—	17/17/25	7,5/12,5/14/20
250	S	—	—	22/33/30	9/17/18, 5/26,5
	M	—	—	22/30/37	11/21/24/30

Таблица П.7

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cos φ	ξ _{ном} , %	K _П	K _{max}	K _{min}	K _I	Уровень звука, дБ, (по шкале А)	Момент инерции, кг·м ²	Масса, кг
Синхронная частота вращения 3000 об/мин											
АИР50А2	0,09	60	0,75	11,5	2,2	2,2	1,8	4,5	60	0,00025	2,5
АИР50В2	0,12	63	0,75	11,5	2,2	2,2	1,8	4,5	60	0,00028	2,8
АИР56А2	0,18	68	0,78	9	2,2	2,2	1,8	5	61	0,00042	3,4
АИР56В2	0,25	69	0,79	9	2,2	2,2	1,8	5	61	0,00047	3,9
АИР63А2	0,37	72	0,86	9	2,2	2,2	1,8	5	61	0,00076	4,7
АИР63В2	0,55	75	0,85	9	2,2	2,2	1,8	5	61	0,0009	5,45
АИР71А2	0,75	78,5	0,83	6	2,1	2,2	1,6	6	60	0,00097	6,5
АИР71В2	1,1	79,0	0,83	6,5	2,1	2,2	1,6	6	60	0,0011	8,8
АИР80А2	1,5	81,0	0,85	5	2,1	2,2	1,6	7	65	0,0018	9,8
АИР80В2	2,2	83,0	0,87	5	2	2,2	1,6	7	65	0,0021	13,2
АИР90Л2	3	84,5	0,88	5	2	2,2	1,6	7	68	0,0035	16,7
АИР100S2	4	87,0	0,88	5	2	2,2	1,6	7,5	68	0,0059	21,6
АИР100Л2	5,5	88,0	0,89	5	2	2,2	1,6	7,5	68	0,0075	27,4
АИР112М2	7,5	87,5	0,88	3,5	2	2,2	1,6	7,5	75	0,01	41
АИР132М2	11	88,0	0,9	3	1,6	2,2	1,2	7,5	77	0,023	64
АИР160S2	15	90	0,89	3	1,8	2,7	1,7	7	80	0,039	100
АИР160М2	18,5	90,5	0,9	3	2	2,7	1,8	7	80	0,043	110
АИР180S2	22	90,5	0,89	2,7	2	2,7	1,9	7	81	0,057	160
АИР180М2	30	91,5	0,9	2,5	2,2	3	1,9	7,5	82	0,07	180
АИР200М2	37	91,5	0,87	2	1,6	2,8	1,5	7	82	0,13	220

Синхронная частота вращения 1500 об/мин

АИР200L2	45	92	0,88	2	1,8	2,8	1,5	7,5	82	0,14	240
АИР225M2	55	92,5	0,91	2	1,8	2,6	1,5	7,5	82	0,22	320
АИР250S2	75	93	0,9	2	1,8	3	1,6	7,5	85	0,41	425
АИР250M2	90	93	0,92	2	1,8	3	1,6	7,5	86	0,46	455

АИР50A4	0,06	53	0,63	11	2,3	2,2	1,8	4,5	50	0,00029	2,6
АИР50B4	0,09	57	0,65	11	2,3	2,2	1,8	4,5	50	0,00033	2,9
АИР56A4	0,12	63	0,66	10	2,3	2,2	1,8	5	56	0,00070	3,35
АИР56B4	0,18	64	0,68	10	2,3	2,2	1,8	5	56	0,00079	3,9
АИР63A4	0,25	68	0,67	12	2,3	2,2	1,8	5	56	0,0012	4,7
АИР63B4	0,37	68	0,7	12	2,3	2,2	1,8	5	56	0,0014	5,6
АИР71A4	0,55	70,5	0,7	9,5	2,3	2,2	1,8	5	56	0,0013	7,8
АИР71B4	0,75	73	0,76	10	2,2	2,2	1,6	5	56	0,0014	8,8
АИР80A4	1,1	75	0,81	7	2,2	2,2	1,6	5,5	56	0,0032	9,9
АИР80B4	1,5	78	0,83	7	2,2	2,2	1,6	5,5	58	0,0033	12,1
АИР90L4	2,2	81	0,83	7	2,1	2,2	1,6	6,5	58	0,0056	17
АИР100S4	3	82	0,83	6	2	2,2	1,6	7	62	0,0087	21,6
АИР100L4	4	85	0,84	6	2	2,2	1,6	7	62	0,011	27,3
АИР112M4	5,5	85,5	0,86	4,5	2	2,5	1,6	7	65	0,017	41
АИР132S4	7,5	87,5	0,86	4,0	2	2,5	1,6	7,5	69	0,028	58
АИР132M4	11	87,5	0,87	3,5	2	2,7	1,6	7,5	69	0,04	70
АИР160S4	15	90	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	70	0,078	100
АИР160M4	18,5	90,5	0,89	3	1,9	2,9	1,8	7	70	0,1	110
АИР180S4	22	90,5	0,87	2,5	1,7	2,4	1,5	7	73	0,15	170
АИР180M4	30	92	0,87	2	1,7	2,7	1,5	7	74	0,19	190

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	$\cos \varphi$	$\xi_{\text{ном}},$ %	K_{Π}	K_{max}	K_{min}	K_f	Уровень звука, дБ (по шкале А)	Момент инерции, кг·м ²	Масса, кг
АИР200М4	37	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	74	0,28	245
АИР200L4	45	92,5	0,89	2	1,7	2,7	1,6	7,5	74	0,34	270
АИР225М4	55	93	0,89	2	1,7	2,6	1,6	7	75	0,51	335
АИР250S4	75	94	0,88	1,5	1,7	2,5	1,4	7,5	77	0,89	450
АИР250М4	90	94	0,89	1,5	1,5	2,5	1,3	7,5	78	1,1	480
АИР280S4	100	93,5	0,91	2,2	1,6	2,2	1	6,5	84	2,3	594
АИР280М4	132	94	0,93	2,2	1,6	2,2	1	6,5	84	2,5	752
АИР315S4	160	93,5	0,91	2	1,4	2	1	5,5	84	3,1	896
АИР315М4	200	94	0,92	2	1,4	2	0,9	5,5	84	3,6	1000
АИР355S4	250	94,5	0,92	2	1,4	2	0,9	7	86	6	1275
АИР355М4	315	94,5	0,92	2	1,4	2	0,9	7	86	7	1480
Синхронная частота вращения 1000 об/мин											
АИР63А6	0,18	56	0,62	14	2	2,2	1,6	4	53	0,0018	4,65
АИР63В6	0,25	59	0,62	14	2	2,2	1,6	4	53	0,0022	5,5
АИР71А6	0,37	65	0,65	8,5	2	2,2	1,6	4,5	55	0,0017	7,8
АИР71В6	0,55	68,5	0,7	8,5	2	2,2	1,6	4,5	55	0,002	8,6
АИР80А6	0,75	70	0,72	8	2	2,2	1,6	4,5	55	0,0031	11,6
АИР80В6	1,1	74	0,74	8	2	2,2	1,6	4,5	55	0,0046	13,4
АИР90L6	1,5	76	0,72	7,5	2	2,2	1,6	6	55	0,0073	16,9

АИР10Л6	2,2	81	0,74	5,5	2	2,2	1,6	6	55	0,013	22,8
АИР112МА6	3	81	0,76	5	2	2,2	1,6	6	62	0,017	35
АИР112МВ6	4	82	0,81	5	2	2,2	1,6	6	62	0,021	40,4
АИР132S6	5,5	85	0,8	4	2	2,2	1,6	7	64	0,04	57
АИР132М6	7,5	85,5	0,81	4	2	2,2	1,6	7	67	0,058	68
АИР160S6	11	88	0,83	3	2	2,7	1,6	6,5	63	0,12	100
АИР160М6	15	88	0,85	3	2	2,7	1,6	6,5	67	0,15	120
АИР180М6	18,5	89,5	0,85	2	1,8	2,4	1,6	6,5	67	0,2	180
АИР200М6	22	90	0,83	2	1,6	2,4	1,4	6,5	67	0,36	225
АИР200L6	30	90	0,85	2,5	1,6	2,4	1,4	6,5	67	0,4	250
АИР225М6	37	91	0,85	2	1,5	2,3	1,4	6,5	68	0,61	305
АИР250S6	45	92,5	0,85	2	1,5	2,3	1,4	6,5	69	1	390
АИР250М6	55	92,5	0,86	2	1,5	2,3	1,4	6,5	69	1,1	430
АИР280S6	75	92,5	0,9	2,2	1,3	2,2	1	6,5	79	2,9	637
АИР280М6	90	93	0,9	2,2	1,4	2,4	1	6,5	79	3,4	702
АИР315S6	110	93	0,92	2,3	1,4	2,3	1	6	79	4	847
АИР315М6	132	93,5	0,9	2,3	1,4	2,3	1	6,5	81	4,5	950
АИР355S6	160	94	0,9	2,2	1,6	2	1	7	81	7,3	1136
АИР355М6	200	94,5	0,9	2,2	1,6	2	0,9	7	81	8,8	1280

Синхронная частота вращения 750 об/мин

АИР71В8	0,25	56	0,65	8	1,8	1,9	1,4	4	52	0,0019	7,8
АИР80А8	0,37	60	0,61	6,5	1,8	1,9	1,4	4	52	0,0034	13,8
АИР80В8	0,55	64	0,63	6,5	1,8	1,9	1,4	4	52	0,0041	15,5

Тип двигателя	Мощность, кВт	КПД, %	cos ϕ	$\xi_{ном}$, %	K_{Π}	K_{max}	K_{min}	K_I	Уровень звука, дБ (по шкале А)	Момент инерции, кг·м ²	Масса, кг
АИР90ЛА8	0,75	70	0,66	7	1,6	1,7	1,2	3,5	52	0,0067	19,7
АИР90ЛВ8	1,1	72	0,70	7	1,6	1,7	1,2	3,5	52	0,0086	22,3
АИР100Л8	1,5	76	0,73	6	1,6	1,7	1,2	5,5	54	0,013	31,3
АИР112МА8	2,2	76,5	0,71	5,5	1,8	2,2	1,4	6	60	0,017	36
АИР112МВ8	3	79	0,74	5,5	1,8	2,2	1,4	6	62	0,025	41
АИР13,8S8	4	83	0,7	4,5	1,8	2,2	1,4	6	62	0,042	56
АИР132М8	5,5	83	0,74	5	1,8	2,2	1,4	6	62	0,057	70
АИР160S8	7,5	87	0,75	3	1,6	2,4	1,4	5,5	63	0,12	100
АИР160М8	11	87,5	0,75	3	1,6	2,4	1,4	6	64	0,15	120
АИР180М8	15	89	0,82	2,5	1,6	2,2	1,5	5,5	65	0,23	180
АИР200М8	18,5	89	0,81	2,5	1,6	2,3	1,4	6	65	0,36	225
АИР200Л8	22	90	0,81	2,5	1,6	2,3	1,4	6	65	0,4	250
АИР225М8	30	90,5	0,81	2,5	1,4	2,3	1,3	6	65	0,61	305
АИР250S8	37	92,5	0,78	2	1,5	2,3	1,4	6	65	1,1	400
АИР250М8	45	92,5	0,79	2	1,4	2,2	1,3	6	65	1,2	430
АИР280S8	55	92	0,86	3	1,3	2,2	1	6	71	3,2	643
АИР280М8	75	93	0,87	3	1,4	2,2	1	6	74	4,1	735
АИР315S8	90	93	0,85	1,5	1,2	2,2	1	6	74	4,9	927
АИР315М8	110	93	0,86	1,5	1,1	2,2	0,9	6	74	5,8	1001
АИР355S8	132	93,5	0,85	2	1,2	2	0,9	6,5	77	9	1175
АИР355М8	160	93,5	0,85	2	1,2	2	0,9	6,5	77	10	1280

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник/А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин и др. М.: Энергоиздат, 1982. 504 с.
2. Вешеневский С. Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977. 432 с.
3. Гольдберг О. Д. Качество и надежность асинхронных двигателей. М.: Энергия, 1968. 112 с.
4. Асинхронные двигатели общего назначения/Под ред. В. М. Петрова, А. Э. Кравчика. М.: Энергия, 1980. 488 с.
5. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода. М.: Энергоиздат, 1981. 576 с.

Оглавление

Предисловие	3
Введение. В чем состоит выбор двигателя?	4
Глава первая. Двигатели	5
1. Каталожные данные	5
2. Характеристики	11
3. Конструкция	17
4. Структура серий асинхронных двигателей	25
Глава вторая. Условия работы	38
5. Классификация климатических районов	38
6. Факторы окружающей среды промышленного происхождения	39
7. Режим работы	40
8. Температура окружающей среды и высота над уровнем моря	44
9. Вибрации и удары со стороны механизма и фундамента	45
Глава третья. Механизмы, приводимые в движение асинхронными двигателями	45
10. Классификация механизмов	45
11. Механические характеристики механизмов	46
12. Типовые режимы работы некоторых механизмов	47
Глава четвертая. Установка и соединение двигателя с механизмом и сетью	48
13. Установка двигателя	48
14. Соединение двигателя с механизмом	48
15. Нагрузки на подшипники и свободный конец вала	50
16. Схемы присоединения двигателей к сети	61
Глава пятая. Выбор двигателя	64
17. Сопоставление свойств двигателей и механизмов	64
18. Выбор двигателей по номинальной мощности	64
19. Выбор частоты вращения	66
20. Выбор электрической модификации	66
21. Выбор по условиям окружающей среды	66
22. Выбор по точности установочных и присоединительных размеров	70
23. Выбор исполнения по способу монтажа	71
24. Расчет допустимой частоты пусков	71

25. Выбор защиты	77
26. Проверка уровня шума	79
27. Определение допустимых нагрузок на подшипник .	80
<i>Приложение 1. Увязка номинальных мощностей с установочными размерами асинхронных двигателей базового ряда серии 4А</i>	82
<i>Приложение 2. Номинальные мощности электрических модификаций асинхронных двигателей серии 4А</i>	83
<i>Приложение 3. Номинальные мощности многоскоростных двигателей серии 4А</i>	86
<i>Приложение 4. Основные технические данные двигателей серии АИ</i>	88
Список литературы	93

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

АРТЕМ ЭМАНУИЛОВИЧ КРАВЧИК
ЭДУАРД КАРЛОВИЧ СТРЕЛЬБИЦКИЙ
МИХАИЛ МАРКОВИЧ ШЛАФ

Выбор и применение асинхронных двигателей

Редактор **Э. П. Клименко**
Редактор издательства **Л. А. Решмина**
Художественные редакторы **В. А. Гозак-Хозак,**
Т. Н. Хромова
Технический редактор **О. Д. Кузнецова**
Корректор **Л. С. Тимохова**

ИБ № 1410

Сдано в набор 14.01.87. Подписано в печать 08.07.87. Т-16421. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 5,04. Усл. кр.-отт. 5,25. Уч.-изд. л. 5,08. Тираж 30 000 экз. Заказ 772. Цена 25 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7